

Vestnik of Geosciences

Вестник геонаук

Март
March
2022,
№ 3 (327)

Главный редактор
А. М. Асхабов

Редакционный совет
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
И. Н. Бурцев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Санкт-Петербург, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
И. В. Козырева, Сыктывкар, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
О. Б. Котова , Сыктывкар, Россия
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
Ж. К. Мелгарехо, Барселона, Испания
Ф. Мон, Пекин, Китай
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия

Редакционная коллегия
А. И. Антошкина, Т. М. Безносова (ответственный секретарь)*, И. Н. Бурцев, Д. А. Бушнев, И. В. Козырева, О. Б. Котова* (заместитель главного редактора)*, С. К. Кузнецов, Т. П. Майорова, А. М. Пыстин, О. В. Удоратина*

Технический редактор
Г. Н. Каблис

Заведующий редакцией
Т. А. Некучаева

Chief Editor
A. M. Askhabov

Editorial Board
Anna I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
Maarten A.T.M. Broekmans, Trondheim, Norway
Igor N. Burtsev, Syktyvkar, Russia
Dmitry A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yury L. Voytekhovsky, Saint Petersburg, Russia
Alexey D. Gvishiani, Moscow, Russia
Irina V. Kozyreva, Syktyvkar, Russia
Marko Komac, Ljubljana, Slovenia
Olga. B. Kotova, Syktyvkar, Russia
Sergey V. Krivovichev, Saint Petersburg, Russia
Sergey K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
Maximiliano de Souza Martins, Ouro Preto, Brazil
Tatyana P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
Joan Carles Melgarejo, Barcelona, Spain
Fancong Meng, Beijing, China
Peep Männik, Tallinn, Estonia
Alexander M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Constance M. Soja, Hamilton, NY, USA
Oksana V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
Mikhail A. Fedonkin, Moscow, Russia

Editorial team
A. I. Antoshkina, T. M. Beznosova (Executive Secretary)*, I. N. Burtsev, D. A. Bushnev, I. V. Kozyreva, O. B. Kotova* (Deputy Chief Editor)*, S. K. Kuznetsov, T. P. Mayorova, A. M. Pystin, O. V. Udoratina*

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 (2020) – **0.532**

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 (2020) — **0.532**

geo.komisc.ru/vestnik

Содержание

Content

Научные статьи

Scientific articles

Комплексные геофизические исследования Западно-Тиманского разлома
А. Ш. Магомедова, В. В. Удоратин, Ю. Е. Езимова.....3

Пространственные закономерности позднепротерозойско-кембрийских эндогенных процессов Канино-Тимано-Печорского региона
В. И. Степаненко 16

«Незрелый янтарь» — кранцит — на Среднем Урале
О. В. Мартиросян..... 25

Шлаки из раскопок археологического памятника — городище Кобылиха (Ненецкий автономный округ)
А. М. Мурыгин, И. С. Астахова..... 31

Complex geophysical investigations of the West Timan fault
A. Sh. Magomedova, V. V. Udoratin, Y. E. Ezimova..... 3

Spatial regularities of the Late Proterozoic-Cambrian endogenous processes in the Kanin-Timan-Pechora region
V. I. Stepanenko 16

“Immature amber” — krantzite — in the Middle Urals
O. V. Martirosyan..... 25

Slags from excavations of the archaeological monument — of the settlement of Kobylikha (Nenets Autonomous District)
A. M. Murygin, I. S. Astakhova 31

Хроника, события, факты. История науки

Chronicle, events, facts. History of Science

Рентгенограф глин.
К 90-летию со дня рождения В. В. Хлыбова (1932—2008)..... 42

Яков Эльевич Юдович.
К 85-летию со дня рождения.....43

Radiographer of clays.
To mark V. V. Khlybov’s 90th Anniversary (1932—2008)..... 42

Yakov Elievich Yudovich.
К 85-летию со дня рождения 43

Правила оформления статей

Vestnik article Formatting

geo.komisc.ru/vestnik/authors

УДК 551.243; 550.389.1 DOI: 10.19110/geov.2022.3.1

Complex geophysical investigations of the West Timan fault

A. Sh. Magomedova, V. V. Udoratin, Y. E. Ezimova

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar
asmagomedova@geo.komisc.ru; udoratin@geo.komisc.ru; yeezimova@geo.komisc.ru

In this paper we discuss results of complex geophysical works within the southern and middle segments of the West Timan fault. In the study area, based on the nature of potential fields (magnetic, gravitational), various areas of the West Timan fault were identified: the southern part (Beloborsk block), the central part (Nivshera block), and the northern part (Sindor block). These areas were studied by profile magnetometry on foot and express radon survey. The detailed magnetic survey revealed that the West Timan fault was clearly visible in the gradient sections of the magnetic field, with some degree of conventionality it can be identified within the regional maximum, and it is impossible to trace it in the zone of the regional minimum. Based on the interpretation of seismic data, the location of the West Timan fault has been clarified. The nature of the seismic record does not always allow identifying the exact location of the fold planes, only the difference in the record in individual blocks is clearly noted. The border area sometimes captures 5 km. The express emanation survey showed that the West Timan thrust, in general, was characterized by increased values of radon volumetric activity, where they are further traced to the territory of Timan, while areas of different intensity are distinguished.

Thus, with insufficient seismic knowledge and low differentiation of potential fields, the emanation radon survey can be used as an additional method for identifying and tracing tectonic dislocations. The complex of geophysical studies allowed clarifying the location of the West Timan fault.

Keywords: *West Timan fault, potential fields, seismic profiles, volume radon activity.*

Комплексные геофизические исследования Западно-Тиманского разлома

А. Ш. Магомедова, В. В. Удоратин, Ю. Е. Езимова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

На территории южного и среднего сегментов Западно-Тиманского разлома, основываясь на материалах потенциальных полей, выделяются различные области: южная — Белоборский блок, центральная — Нившерский блок, северная — Синдорский блок. Белоборский блок — осевая часть регионального минимума гравитационного поля, осевая часть минимума магнитного поля. Нившерский блок — пограничная область между двумя гравитационными минимумами, осевая часть максимума магнитного поля. Синдорский блок — зона перегиба положительных значений гравитационного поля, градиентная зона между положительными и отрицательными значениями магнитного поля.

Исследования, включающие магниторазведочную и радоновую съемки выполнялись по двенадцати профилям, секущим Западно-Тиманский разлом.

Обобщая детальные магниторазведочные работы, выяснили, что Западно-Тиманский надвиг в магнитном поле проследить четкой зоной невозможно как на градиентных участках поля, так и в пределах региональных максимумов и минимумов. Как правило, ширина градиентной зоны меньше зон максимумов и минимумов. В отдельных случаях можно лишь трассировать разлом по сериям даек основных и ультраосновных пород, которые могут находиться и не во фронтальной зоне разлома.

По результатам экспрессной эманационной съемки отмечается, что южная и центральная части Западно-Тиманского разлома характеризуются повышенными значениями объемной активности радона (ОАР), которые изменяются в интервале 400—2150 Бк/м3, при этом выделяются различные по интенсивности области. Среднее значение ОАР Белоборского блока составляет 670 Бк/м3, Нившерского — 670 Бк/м3, Синдорского — 600 Бк/м3. Средний относительный показатель ОАР Белоборского блока составляет K_Q = 2.0, Нившерского блока — K_Q = 5.4, Синдорского блока — $K_{Q(юг)}$ = 2.0, $K_{Q(север)}$ = 6.0. Почвенный радон распространяется за пределы тектонических нарушений из-за повышенной трещиноватости верхних горизонтов осадочного чехла, в связи с этим ширина аномалии радона всегда превышает ширину самого разлома.

Таким образом, эманационная радоновая съемка может использоваться как дополнительный метод для выявления и трассирования тектонических нарушений. Особое внимание следует обратить на Синдорский блок, где в магнитном поле отмечается резкая градиентная область, на фоне которой выделяется серия даек. Также эта зона характеризуется высоким показателем K_Q.

Ключевые слова: *Западно-Тиманский разлом, потенциальные поля, сейсмические профили, объемная активность радона.*

Introduction

Initially, the faults were identified according to the data of gravimetric and magnetic surveys, and then, by seismic surveys using the methods of deep seismic sounding (DSS), converted waves of earthquakes (ECWM), reflected waves (RW), common depth point (CDP), correlation method of refracted waves (CMRW).

For citation: Magomedova A. Sh., Udoratin V. V., Ezimova Y. E. Complex geophysical investigations of the West Timan fault. Vestnik of Geosciences, 2022, 3(327), pp. 3—15, doi: 10.19110/geov.2022.3.1.

Для цитирования: Магомедова А. Ш., Удоратин В. В., Езимова Ю. Е. Комплексные геофизические исследования Западно-Тиманского разломат // Вестник геонаук. 2022. 3(327). С. 3—15. DOI: 10.19110/geov.2022.3.1.

In situ, their identification was confirmed by geological surveys and drilling. The signs, on which the identification of faults is based, using the analysis of maps of magnetic and gravitational fields, are well known and are widely covered in the literature. In this work, we used results of studying the fault tectonics of the European North-East of Russia [1—3, 5—7, 10, 11, 13, 14, 17, 18, 20, 21, 24, 28, 34—36 and etc.]. Numerous maps and schemes of tectonic zoning of the Timan-Northern Ural region have been built and published on the basis of materials of previous studies. The maps and diagrams of the block structure and fault tectonics of the region constructed by different authors, despite their significant similarity, also have certain differences, sometimes even fundamental ones both in the genesis and in the location of the structures [18]. The purpose of our research was to clarify the location of the West Timan fault and detailing its tectonic activity using available materials and additional studies.

Object of study

Tectonically the territory of the Komi Republic is represented by a node of heteroaged structures of the East European Platform: Volga-Ural anteclise, Mezen syneclise, Timan, Pechora syneclise, Northern Urals. The boundary of the Russian and Pechora plates is the West Timan deep fault. The Timan Ridge is included in the Pechora Plate as its southwestern structural boundary. The main difference between the Russian and Pechora plates is the age of the basement [28].

The West Timan fault was initially identified by a change of magnetic field sign, predominantly positive of the Pre-Timan foredeep of the Russian Plate, to the negative magnetic field of Timan. At the same time, it was noted that within the suture zone, the basement of the Russian Plate sinks under the marginal folded structures, which was expressed by NW oriented wide band anomalies. In other words, we observe an overthrust of the Timan Ridge on the basement of the Russian Plate [6, 9, 25].

The West Timan fault — a boundary structure ("marginal suture" according to [6, 12]) between the epikarelian Russian and epibaikalian Timan-Pechora plates, over 800 km long. It is traced from the Kanin Peninsula of the Pechora Sea to the Northern Urals, where it passes into the overthrust of the Polyudova Ridge, and further to the south, into the system of disjunctives of the West Ural megazone of the Middle Urals. In the extreme northwest of the region, the role of the "marginal suture" passes to the Kola-Kanin fault with a suture with a submeridional closure in this part of the Timan-Pechora plate of the West Timan fault. Stretching northwestward, the fault marks the western boundary of the Timan Ridge [34].

The West Timan fault is a thrust fault, where the basement of the Timan-Pechora plate is thrusted over the basement of the Russian plate. According to seismic data, it has been determined that the suture occurs along a fold-thrust zone confined by the West Timan and Central Timan faults, the distance between which varies widely. It has the greatest width, up to 75—80 km, in the area of Chetlas Kamen. The width of the zone is significantly reduced northwestward and southeastward, to 10—20 km at the Kanin Peninsula and further northwestward, the junction of the Lower and Upper Precambrian complexes has a pattern of a marginal suture [4, 23, 28—30].

The entire complex of rocks that compose the Timan Ridge is divided by a sharp angular disconformity into two structural stages: the lower one is the Riphean-Vendian, which is a consolidated basement, and the upper one is the Phanerozoic platform nappe, which is composed mainly of Paleozoic deposits from the Silurian (in Northern Timan) to the Upper Permian inclusively. Granitized Archean — Lower Proterozoic crystalline rocks withrelatively unknown composition underlaythe Riphean — Vendian sedimentary-metamorphic formations [7, 28].

The structures of the Timan Ridge are composed of Paleozoic formations up to Upper Permian. The Mesozoic rocks, represented generally by the Lower Triassic and Middle Jurassic rocks, are developed on the slopes of the ridge. In its arched part, there are only remnants of an earlier, probably, continuous cover of the Middle — Upper Jurassic deposits. On a much larger area of Timan, as well as in the Pechora syneclise, Devonian deposits are widespread. They are represented by gravelites, white sandstones with clay members, on which tuffites and basalts occur; basalt nappes are known in the northern Timan. Variegated clays, sands, sandstones, and Devonian marls occur upward the section. Carboniferous deposits are distributed mainly on the eastern slope of the Timan. They include Lower Carboniferous limestone, dolomite, sandstone and sands. The Middle and Upper Carboniferous beds transgressively overlay the Proterozoic deposits of the entire Timan Ridge. Permian and Mesozoic deposits are developed in the margins of the Timan Ridge. Westward of Timan, Permian deposits include limestone, dolomite, clay, sandstone and dolomite, anhydrite, gypsum and rock salt sequences. Eastward Permian deposits are represented by limestone, gypsum, and dolomite, and closer to the Urals — by coal-bearing layers [28] (Fig. 1).

In this paper we consider the southern and middle segments of the West Timan fault (Fig. 2—4). The research has been carried out since 2018 and was accompanied by publications at some stages [33].

Research results and discussion

The research was carried out to clarify the location of the West Timan fault and to assess its activity. We solved the following tasks:

1) qualitative interpretation of magnetic and gravimetric fields and determination of the location of fault zones in the first approximation;

2) study of the geological and geophysical section based on seismic data and specification of the projection of faults and fault zones on the surface;

3) detailed magnetometric cross-strike works;

4) measurement of the volumetric activity of radon, as a factor in the presence of increased fracturing in the section [33].

Traditional geophysical methods (gravimetric, magnetometric, seismic, electrical prospecting) are always used to study the deep structure. The measurement of radon volumetric activity and use of microseismic fields have recently become popular due to their effectiveness [19, 22, 26 and etc.]. This set of geophysical works was previously successfully applied to study the deep structure of the Kirov-Kazhim and Pechora-Kolva aulacogens and Vychegda depression [31—33].

Researches, including magnetic and radon surveys, were carried out on twelve profiles crossing the West Timan fault: "Obdyr", "Sediudor", "Meshchura", "Sindor", "Nivshera", "Troitsk", "Ozyag", "Parma", "Sheryag", "Smolyanka", "Yn", "Beloborsk" (from north to south) (Fig. 2).

Potential fields

Gravity and magnetic surveys on scales of 1:1,000,000 and 1:200,000 cover the entire area of the Timan-Northern Ural region. Based on the performed works, maps of the anomalous magnetic field (isolines and ΔTa graphs) were built and published. The interpretation of magnetic fields resulted in revealing regional regularities in the structure of the sedimentary cover and basement, its material composition, as well as fault tectonics. Maps of the anomalous gravimetric field and its various transformations on a scale of 1:200000 and 1:50000 are widely used to study the basement, its depth, and to identify zones of tectonic faults. The maps and schemes of tectonic zoning were generally constructed on the basis of these materials, further detailing of the maps and schemes was made after seismic works. However, the degree of study by seismic methods of individual structures of the Timan Ridge is very different, and on the whole where the territory has been studied extremely poorly [32, 33].

The gravitational field of the boundary area of two plates is represented in its southeastern part by anomalies

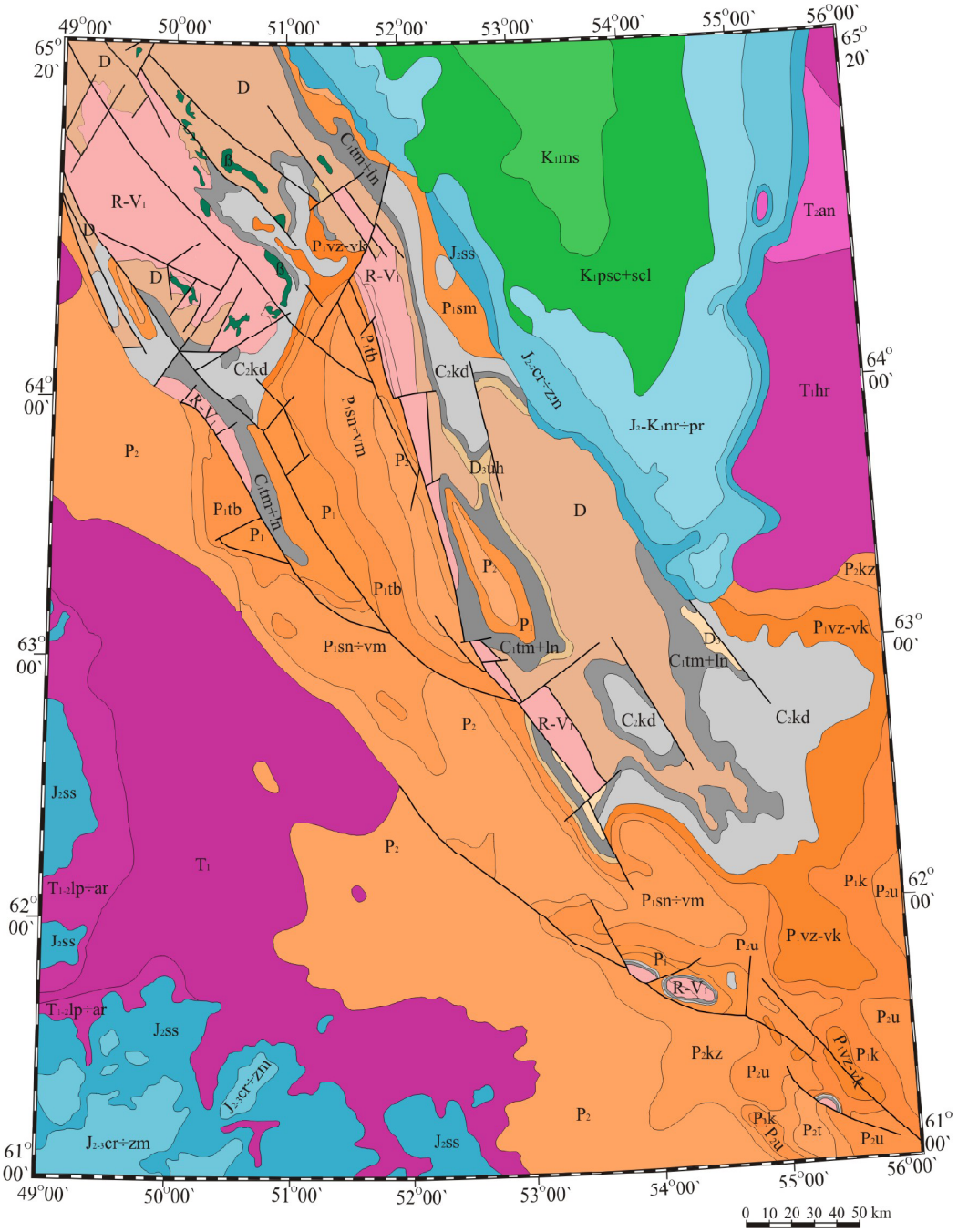


Fig. 1. Geological map of the study area (Atlas of the Komi Republic. Geological structure of the territory. Moscow, 2011. Composed by D. B. Sobolev, N. I. Timonin)

Рис. 1. Геологическая карта района исследований (Атлас Республики Коми. Геологическое строение территории. Москва, 2011 г. Составили: Д. Б. Соболев, Н. И. Тимонин)

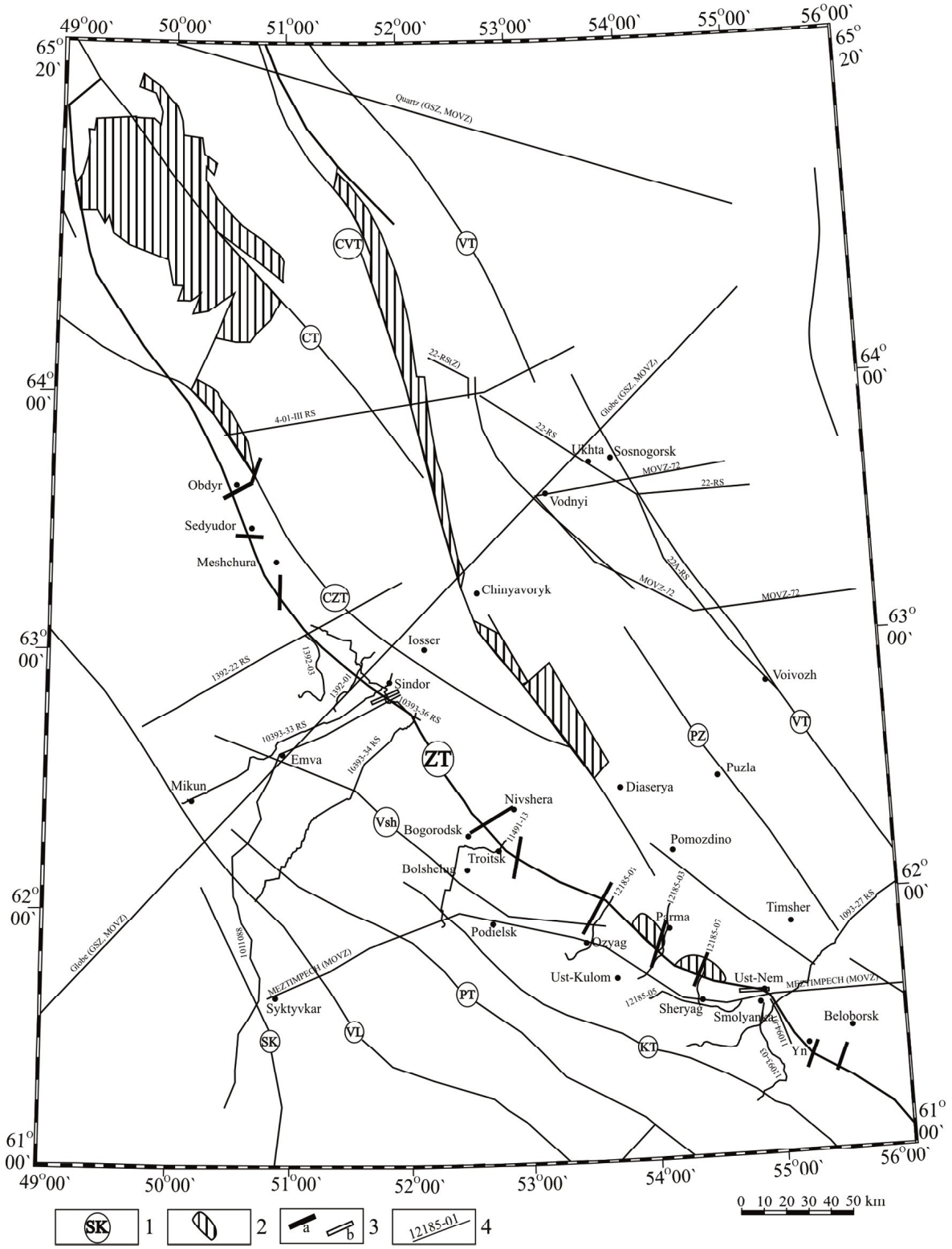


Fig. 2. Fault tectonics and seismic scheme studies of the study area (composed by V. V. Udoratin).

1 — faults: SK — Syktyvkar, VL — Vychegda-Lokchim, PT — Predtimanskiy, KT — Keltmenskiy, VSh — Vishera, ZT — West Timan, CZT — Central West Timan, CVT — Central East Timan, CT — Central Timan, PZ — Puzlinskiy, VT — East Timan; 2 — outcrops of bedrock; 3 — sections of work: "Obdyr", "Sedyudor", "Meshchura", "Sindor", "Nivshera", "Troitsk", "Ozyag", "Parma", "Sheryag", "Smolyanka", "Yn", "Beloborsk" (from north to south), filled rectangle — magnetometric survey and radon works performed, empty rectangle — radon works performed; 4 — seismic profiles

Рис. 2. Схема разломной тектоники и сейсмической изученности района исследований (составил В. В. Удоратин).

1 — разломы: SK — Сыктывкарский, VL — Вычегодско-Локчимский, PT — Притиманский, KT — Кельтменский, VSh — Вишерский, ZT — Западно-Тиманский, CZT — Цетрально-Западно-Тиманский, CVT — Центрально-Восточно-Тиманский, CT — Центрально-Тиманский, PZ — Пузлинский, VT — Восточно-Тиманский; 2 — выходы коренных пород; 3 — участки работ: «Обдыр», «Седъюдор», «Мещура», «Синдор», «Нившера», «Троицк», «Озъяг», «Парма», «Шеръяг», «Смолянка», «Ын», «Белоборск» (с севера на юг), залитый прямоугольник — выполнены магниторазведочные и радоновые работы, пустой прямоугольник — выполнены радоновые работы; 4 — сейсмические профили

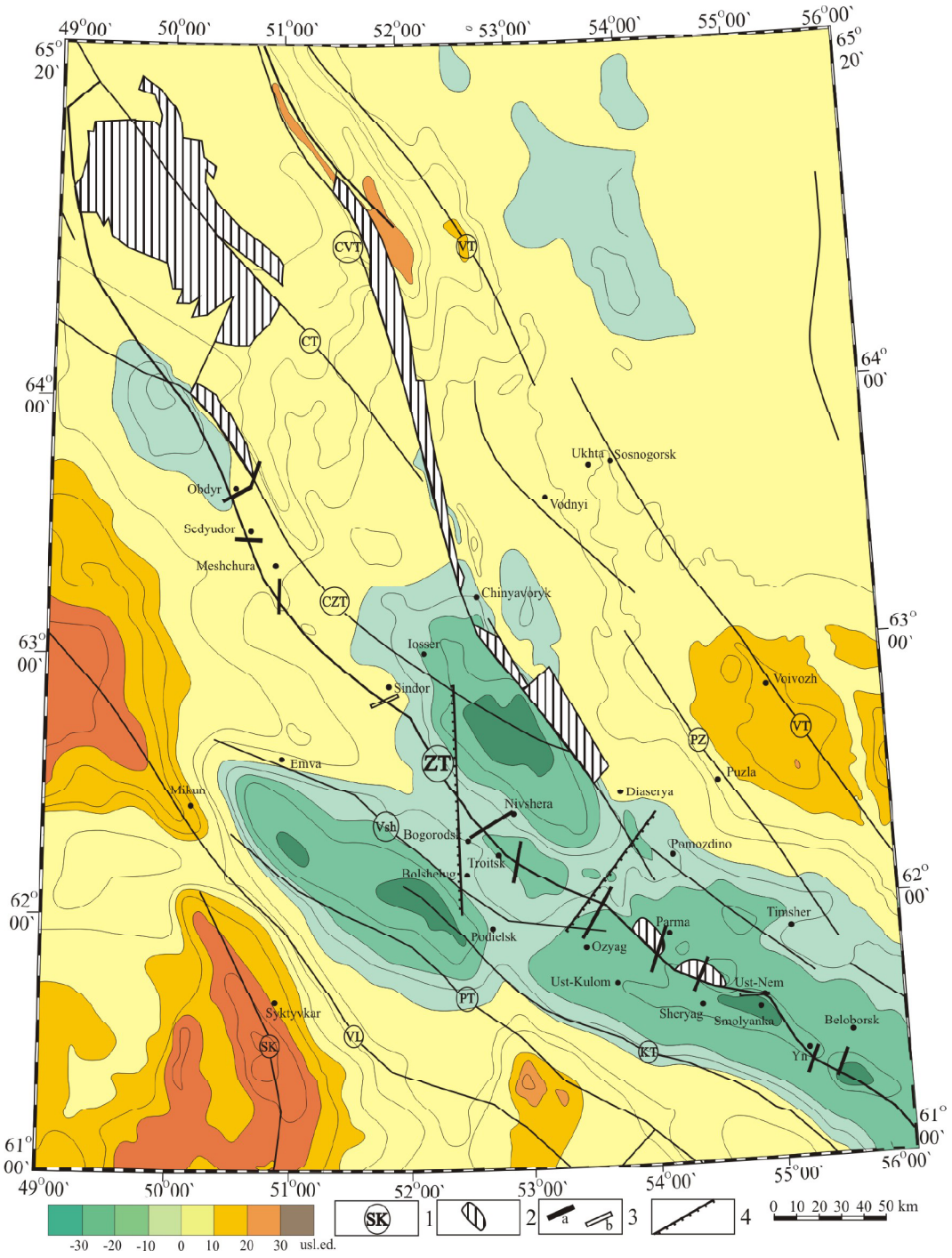


Fig. 3. Fragment of the gravity field map of the study area [16]:

1—3 — see Fig. 2; 4 — block boundaries

Рис. 3. Фрагмент карты гравиметрического поля района исследований [16]:

1—3 — усл. обозн. см. на рис. 2; 4 — границы блоков

of NW-strike minima, and in the northeastern part — by an extended gradient step indicating transition to positive anomalies also of NW strike. In the study area, outlining of the fault in the south passes through the zone of the regional gravity Timan minimum with size of 200 by 100 km, the western part of which corresponds to the southeast of the Vychegda depression, and the eastern part corresponds to the southern end of the Timan Ridge (Fig. 3). Further, this minimum breaks up into two minima close in size (150 by 70 km), where the western one corresponds to the northwestern part of the Vychegda depression, and the eastern one corresponds to the part of the southern Timan. The West Timan Fault runs along their section. Further northwestward, the fault is traced through the zone of positive values and the axial part of the next minimum, 90 by 50 km in size. The width of the axial part of the described minima is about 15–20 km, which indicates a very approximate fault tracing [33].

In the magnetic field, the West Timan fault is reflected along its entire length by a gradient of ΔTa values, which fixes the transition from the Timan regional minimum on the territory of the Timan Ridge and the

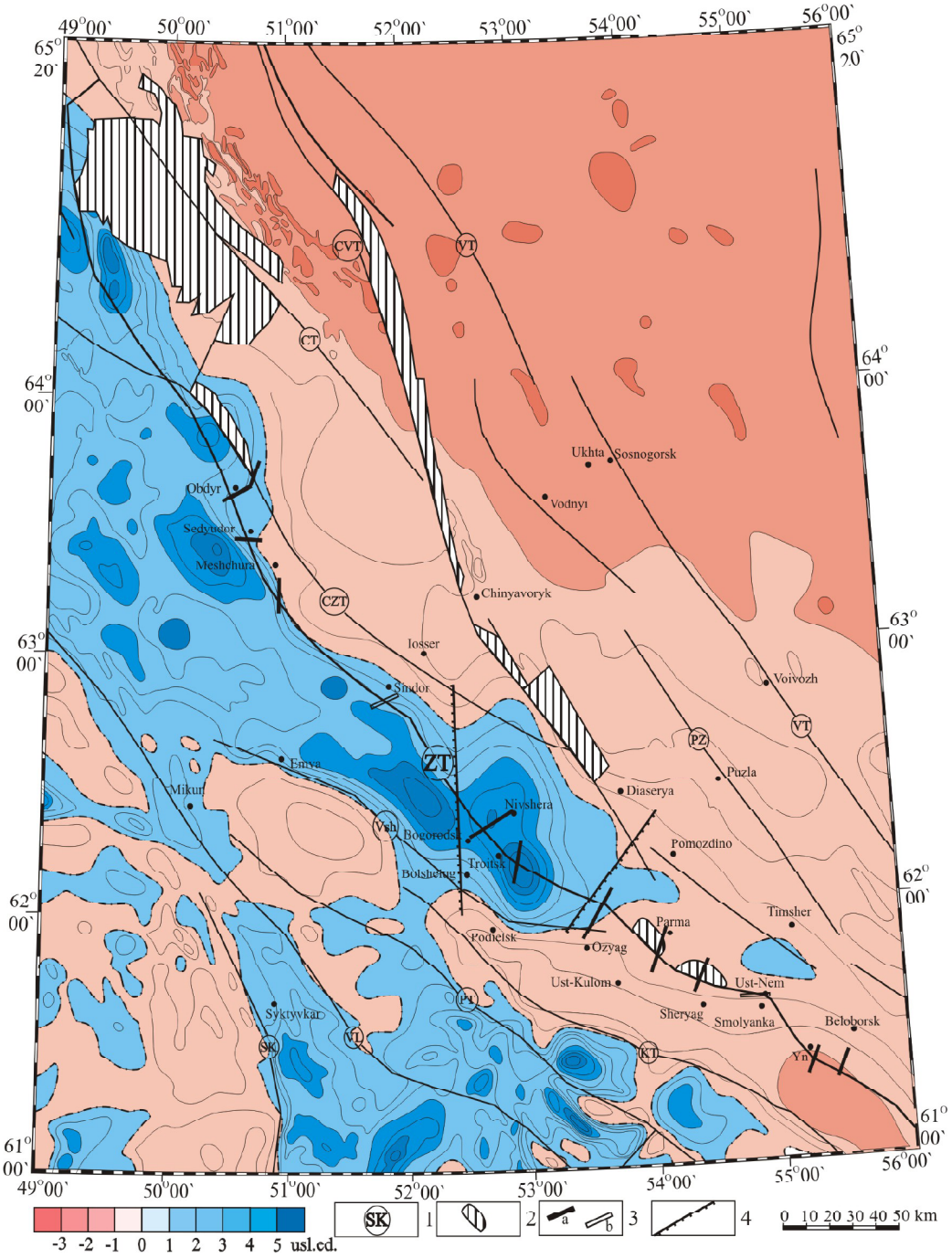


Fig. 4. Fragment of the anomalous magnetic field map of the study area [15]:

1—3 — see Fig. 2; 4 — block boundaries

Рис. 4. Фрагмент карты аномального магнитного поля района исследований [15]:

1—3 — усл. обозн. см. на рис. 2; 4 — границы блоков

Pechora syneclise to the band of regional maxima of the Pre-Timan structures — the Safonov and Vychegda depressions. The anomalies of this band are generally NW oriented, but in some areas they have a sublatitudinal strike caused by a stepped "angular" form of an orthogonal combination of faults of the general NW "Timan" and a less pronounced NE direction in the suture zone of the Russian and Timan-Pechora plates. Apparently, it can consist of en echelon segments with a single displacement plane with depth. The width of this "suture" reaches 10—12 km considering the steps of the gravitational and magnetic fields [33, 34].

However, the confinement of the West Timan Fault to the gradient zone described above is very conditional (Fig. 4). The southern segment of the fault is practically not expressed in the magnetic field, being in the region of the regional minimum, covering the south of the Timan and the southeastern part of the Vychegda depression. Further, the West Timan fault is traced along the axial part of the Nivshera maximum, with a size of 75 by 30 km, and only further north west ward the fault can be somewhere related to the gradient zone and to the axial parts of the maxima. This nature of the physical fields indicates the complex structure of the thrust zone with heterogeneous internal content [33].

In the study area, based on the materials of potential fields, we distinguish various areas of the West Timan fault: the southern part (Beloborsk block), the central part (Nivshera block), and the northern part (Sindor block). Beloborsk block: axial part of the regional minimum of the gravitational field, axial part of the minimum of the magnetic field. Nivshera block: boundary area between two gravitational minima, axial part of the magnetic field maximum. Sindor block: inflection zone of positive values of the gravitational field, gradient zone between positive and negative values of the magnetic field (Fig. 3, 4) [33].

Seismic research

The seismic study of the territory under consideration is insignificant, and the quality of the material does not always allow confident conclusions. We have studied all possible materials of seismic studies, the results of the interpretation of which served as the basis for constructing a scheme of fault tectonics. It was the CDP seismic survey data that allowed confidently interpreting the West Timan deep fault as an overthrust, while DSS [8] and ECWM data [4, 29, 30] allowed tracing it to depths of 20—35 km or more [33].

On the geological and geophysical sections along the seismic profiles 10393–33 PC, 10393–34 PC, 1392–22PC and 11093–27PC, the first, second and thirdones crossing the Middle Timan, respectively, and the fourth ones–the South Timan, the fault is presented in the form of an overthrust from "beam" of the fold planes, emanating from one deep focus, where 2—3 planes are noted, and diverge as a "fan" to the surface, reaching there already 7—9 planes and a width of 10—15 km [34]. The vertical displacement of the Upper Riphean rocks of the northeastern shoulder of the fault in some of its areas (the Vadyavozh disjunctive anticline of the Dzhedzhim-Parma swell) relative to the age analogs of the southwestern foot shoulder can reach 4 km, and in others, 2.8 km (Obdyr structure). On the northwestern flank, the fault amplitude decreases to 1—2 km. In the sedimentary cover, it thins out to the first hundreds and even several tens of meters. On the southwestern foot shoulder of the West Timan Fault, Paleozoic-Riphean deposits are uplifted to the fault planes, and older Lower Proterozoic and Archean complexes sink under the thrust [34].

As can be seen on the seismic scheme, the number of profiles crossing the West Timan fault is insignificant (Fig. 2). The profiles under study, if possible, were selected

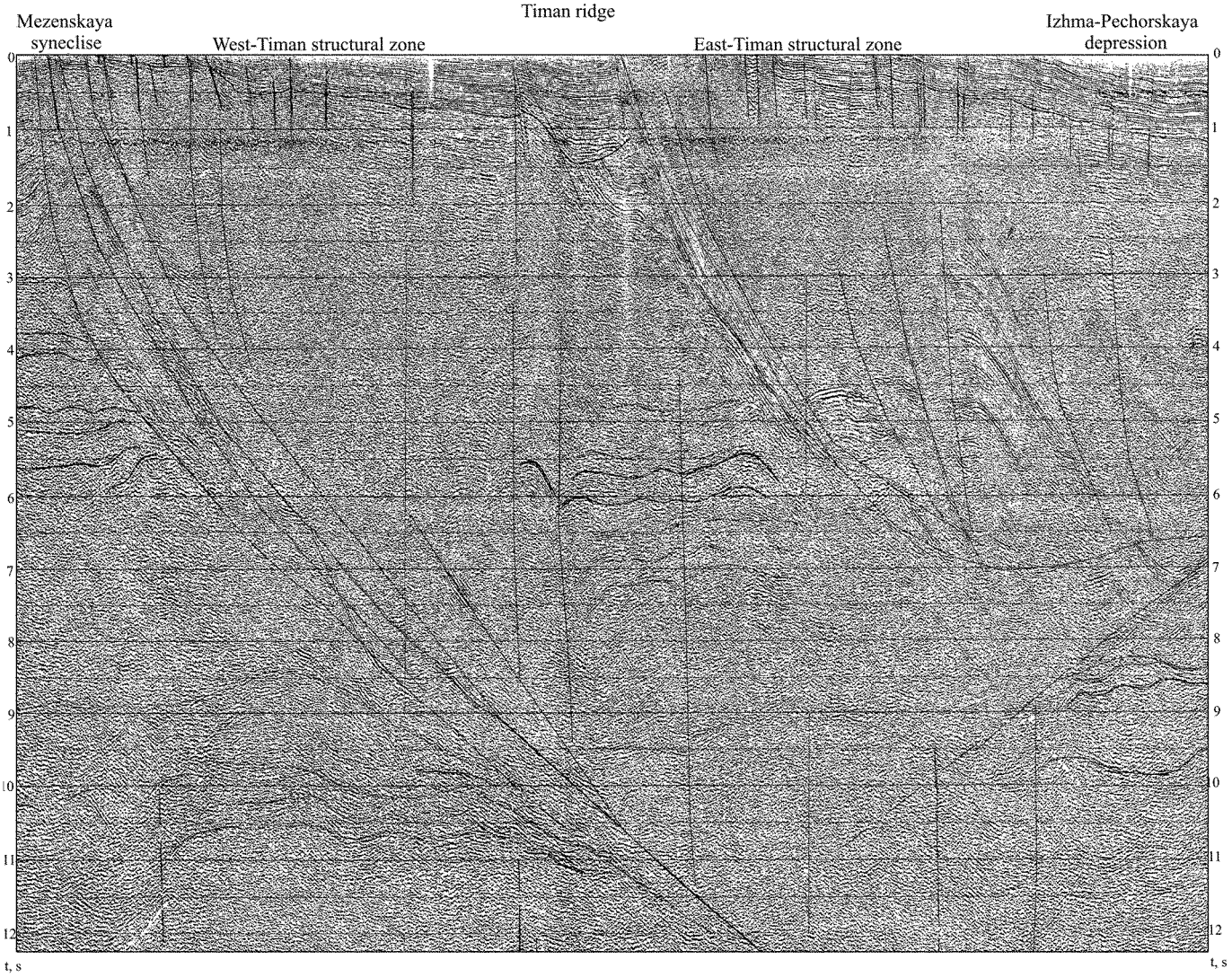


Fig. 5. Fragment of the temporary seismic section along the profile 4-01-III-RS across the West Timan fault [34]

Рис. 5. Фрагмент временного сейсмического разреза по профилю 4-01-III-РС через Западно-Тиманский разлом [34]

along the line of seismic profiles, or near them. In some areas, our studies took place far enough from the seismic profiles.

In the Sindor block, not far from the work area, regional seismic profiles 10393-34 RS and 10393-33 RS, 4-01-III-RS were completed. In the Nivshera block, seismic profile 11491–13 is the closest to the "Nivshera" and "Troitsk" profiles. In the Beloborsk block near the village of Smolyanka seismic profiles 12185–05 and 11093–27 RS intersect the Smolyanka profile, 11093–03 and 11094–01 pass next to it; "Sheryag" and "Parma" — correspond to seismic profiles 12185–07 and 12185–03; profile "Ozyag" coincides with a fragment of seismic profile 12185–01. Fault tracing is not in doubt according to seismic data, although the nature of the seismic record does not always allow identifying the exact location of the fault planes, only the difference in the record is clearly notedin some blocks. The boundary area sometimes covers 5 km (Fig. 5).

Profile magnetometric studies

For almost 400 km, within the blocks we have identified, in their various sections, we have worked out the magnetic prospecting profiles "Obdyr", "Sedudor", "Meshchura", "Nivshera", "Troitsk", "Ozyag", "Parma", Sheryag", "Yn", "Beloborsk". The distance between the profiles was determined by the accessibility to the sites and ranged from 20 to 65 km (Fig. 2—4).

Magnetometric studies were carried out with MINIMAG pedestrian devices, which are designed to measure the modulus of the geomagnetic field. The limit of the main systematic error of the magnetometer when measuring the magnetic induction does not exceed ±2 nT. The step between the observation points was 50 m. The length of the profiles ranged from 10 to 23 km. Simultaneously with ordinary observations, variations of the magnetic field were taken. The magnetometric station was installed in a quiet magnetic field and recorded variations with an interval of 1 minute. Topographic referencing was performed using a GPS Garmin 62S, the referencing accuracy at full visibility of the horizon reaches 3 m. The referencing was performed in 100 m increments. Time referencing between magnetometers was performed using a GPS Garmin 62S, referencing accuracy was ±1 second. All profiles started from the Vychegda trough [33].

The task of the research was to study in detail the anomalous magnetic field within the fault. The research results are shown in Figure 6.

The Sindor block of the West Timan fault is represented by the "Obdyr", "Sedyudor", and "Meshchura" profiles (Fig. 4). The "Obdyr" profile, 23 km long, crosses the West Timan and Central West Timan faults. The profile passes through a quiet positive magnetic field (Fig. 4, 6, A). The West Timan fault is not distinguished on the ΔT plot, while the Central West Timan fault corresponds to a sharp stepwise drop in the magnetic field PN360–PN370 (Fig. 6, A). On the "Sedyudor" profile, passing through the gradient zone, the West Timan fault is not traced in the magnetic field by any clear area (Fig. 6, B). On the "Meshchura" profile, the West Timan fault is distinguished by a confidently sharp drop in the magnetic field, which is against the background of the general gradient PN15–PN55 (Fig. 6, C). We carried out detailed work in this area, the results of which made it clear that a series of local dikes can be traced here, located in the Timan thrust zone.

Within the Nivshera block of the West Timan fault, the "Nivshera" and "Troitsk" profiles were mined (Fig. 4). According to the "Nivschera" profile, on the plot of the positive gradient magnetic field in the fault zone, its slight drop PN100–PN140 is traced (Fig. 6, D). On the "Troitsky" profile in the region of PN30–PN70, magnetic field fluctuations are observed, which can be associated with dikes located in the fault zone (Fig. 6, E). A magnetic anomaly is traced at the end of the profile (PN195–PN205).

The "Ozyag", "Parma", "Sheryag", "Yn", and "Beloborsk" profiles pass along the Beloborsky block of the West Timan fault (Fig. 4). On the graphs of anomalous magnetic fields, the West Timan fault is not reflected (Fig. 6, W, Z, I, L, M). Attention should be paid to the "Sheryag" profile, where jumps of the anomalous magnetic field (PN170–PN230) are noted after the frontal fault zone (Fig. 6, I). In the ΔT plot along the "Beloborsk" profile in the area of PN100–PN120, already within the Timan thrust zone, an anomaly associated with a mafic rock dike was traced (Fig. 6, M).

Detailed magnetic surveys have shown that it is impossible to clearly trace the West Timan Fault in a magnetic field, both in the gradient areas of the field and within the regional maxima and minima. It can be only noted that the width of the gradient zone is generally less than the zones of maxima and minima. In some cases, it can only be traced along a series of dikes of basic and ultrabasic rocks, but they may not be in the frontal fault zone [33].

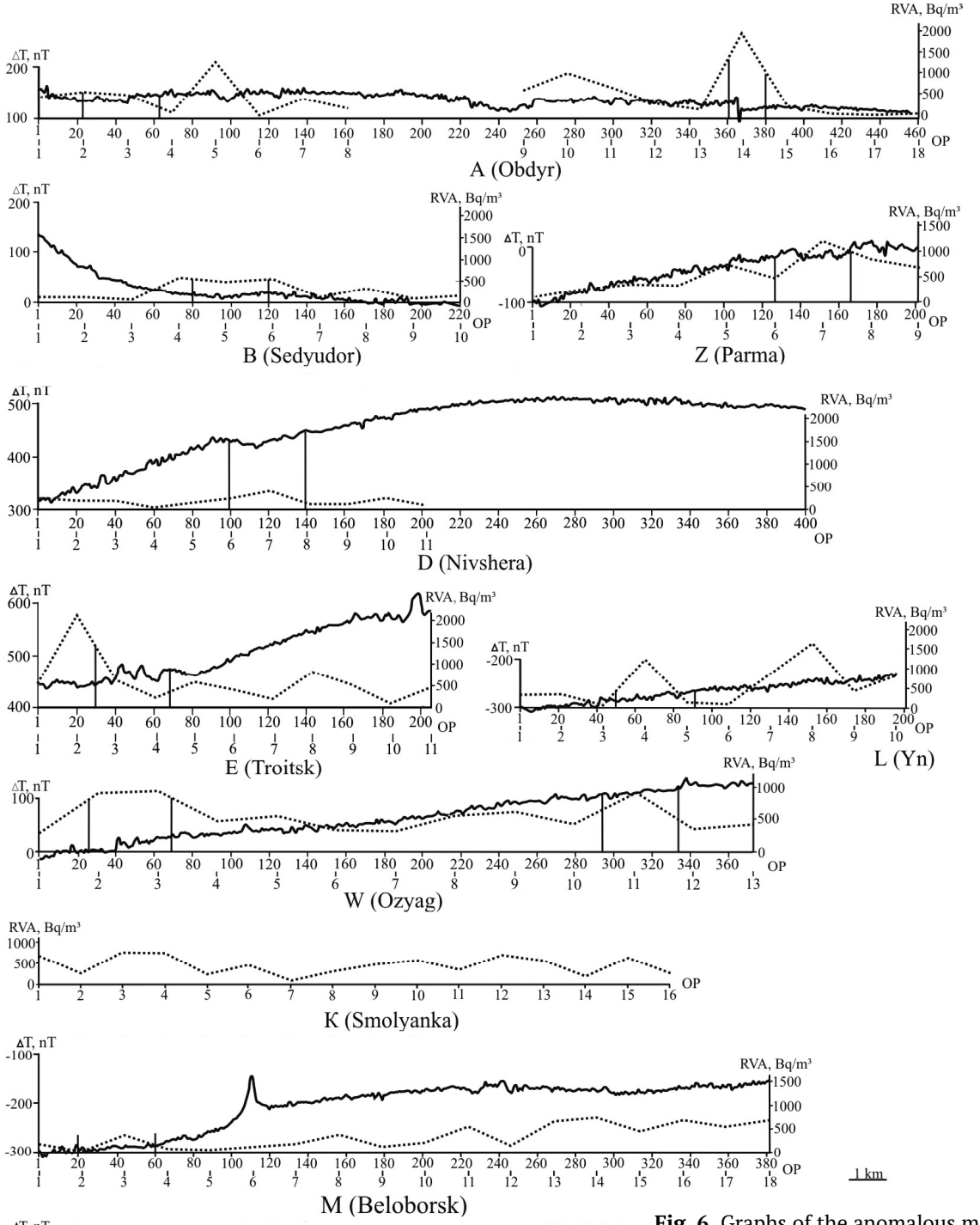
Radon monitoring

Emanation survey is one of the available, express, and cost-effective methods to identify and trace fault zones within platform areas, where faults are covered by a thick nappe [26, 31, 32].

Radon is generated through uranium-238 decay chain producing several isotopes with a long half-life (uranium-234, thorium-230, radium-226) usually found in granitic, igneous, sedimentary, metamorphic rocks, so radon is produced by almost all types of rocks and soils at different depths [37]. In addition, radon-222 is characterized by the longest half-life relative to other isotopes (thoron, actinon), which makes it an optimal indicator for detecting and tracing tectonic faults.

Express radon survey in the West Timan fault was carried out on twelve profiles (Fig. 2—4), which are combined with magnetometricsurvey. A portable radiometer RRA-01M was used to measure the volumetric activity of radon (RVA) in the soil air. At each observation point, a well was drilled with a depth of 50 cm and a diameter of 10 cm. The measurements were express and began immediately after drilling the well. Before each measurement, the system was pumped with ambient air for 4 minutes. The time for sampling soil air with a pump was 4 minutes and 20 minutes for the natural measurement of RVA. A flask with $CaCl_2$ silica gel was used to dry the soil air. Atmospheric pressure, humidity, temperature, and gamma radiation readings were recorded simultaneously with RVA measurements [33].

For a qualitative assessment of RVA, we drew a middle line on the profile graph. For a quantitative assessment, we used the relative indicator of the volumetric activity



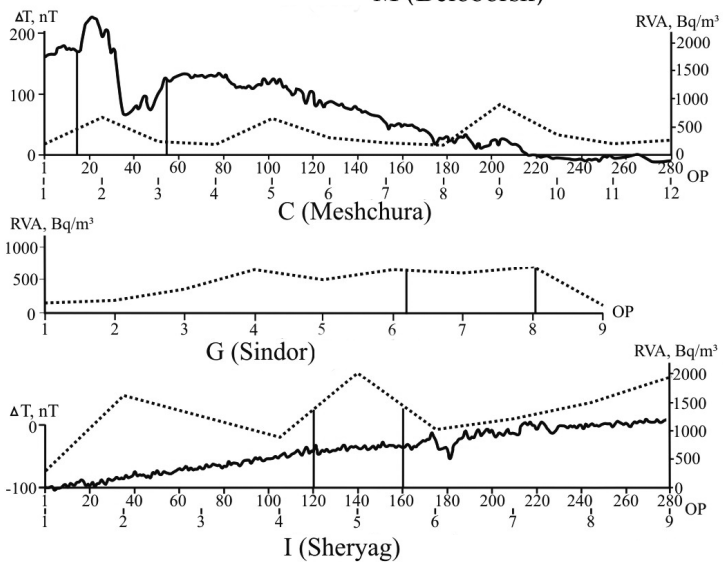


Fig. 6. Graphs of the anomalous magnetic field and the volume radonactivityalong the profile line: A — "Obdyr", B — "Sedyudor", C — "Meshchura", G — "Sindor", D — "Nivshera", E — "Troitsk", W — "Ozyag", Z — "Parma", I — "Sheryag", K — "Smolyanka", L — "Yn", M — "Beloborsk". Continuous line — graph of anomalous magnetic field, scale on the left; dashed line — graph of volume radonactivity, scale on the right; vertical lines — fault zone

Рис. 6. Графики аномального магнитного поля и объемной активности радона вдоль линии профилей: A — «Обдыр», B — «Седъюдор», C — «Мещура», G — «Синдор», D — «Нившера», E — «Троицк», W — «Озъяг», Z — «Парма», I — «Шеръяг», K — «Смолянка», L — «Ын», M — «Белоборск»». Сплошная линия — график аномального магнитного поля, шкала слева; пунктирная линия — график объемной активности радона, шкала справа; вертикальные линии — зона разлома

of radon $K_Q = Q_{max}/Q_{min}$, где Q_{max} — the intensity of the near-fault anomaly, Q_{min} is the minimum value of Q directly outside ($Q_{min} = Q_{min1} + Q_{min2})/2$. According to the value of K_Q, discontinuities of ultra-high ($K_Q > 10$), high ($10 \geqslant K_Q > 5$), increased ($5 \geqslant K_Q > 3$), medium ($3 \geqslant K_Q > 2$), low ($K_Q \leqslant 2$) radon activity are distinguished [27].

It should be noted that the measurements on the profiles or their parts were carried out several times (in different years), the average values are given in the paper.

In the Sindor block, located in the north of the work area, radon surveys were carried out along four profiles: "Obdyr", "Sedyudor", "Meshchura" and "Sindor" (Fig. 2).

18 measurements were made along the Obdyr profile. The data range is from 70 to 2074 Bq/m^3. In the western part of the profile, there is a maximum of RVA plot with a value of 1386 Bq/m^3, 2 km east of the supposed location of the fault. In the eastern part, there is also RVA maximum with a value of 2074 Bq/m^3, which corresponds on the ground to the Central West Timan Fault ($K_Q = 5.7$) (Fig. 6, A).

10 measurements were carried out along the "Sedyudor" profile. The range of RVA values is 70—580 Bq/m^3. The zone of the West Timan fault corresponds to increased RVA values of 480—580 Bq/m^3, ($K_Q = 6.3$) (Fig. 6, B).

12 observation points were worked out along the "Meshchura" profile. RSA values are in the range of 157—914 Bq/m^3. The fault zone corresponds to the first maximum of RVA values with a value of 559 Bq/m^3, ($K_Q = 2.6$). Further along the profile, two more maxima are observed, which are already in the Timan thrust zone (Fig. 6, C).

On the "Sindor" profile, against the background of the average line of RVA plot of 245 Bq/m^3, a wide maximum of RVA with values of 500—700 Bq/m^3, $K_Q = 1.4$ is clearly distinguished, in the eastern part corresponding to the West Timan fault (Fig. 6, G).

In the Nivshera block, which corresponds to the central segment of the fault in the study area, two profiles were worked out, with 11 observation points each.

In the northern part of the block along the "Nivshera" profile, the average line of RVA graph is 180 Bq/m^3, the fault corresponds to RVA peak with a maximum value along the profile of 407 Bq/m^3, $K_Q = 2$ (Fig. 6, D).

Along the line of the "Troitsk" profile, against the background of rather high values along the middle line of RVA of 600 Bq/m^3, a peak of radon activity with a value of 2144 Bq/m^3 is distinguished, located near the fault zone (Fig. 6, E).

In the Beloborsk block, radon surveys were carried out along six profiles.

The "Ozyag" profile crosses two faults — the Vishera, located within the Vychegda depression, and the West Timan. Both dislocations are clearly manifested in the radon field as increased values with an average line on the RVA graph of 400 Bq/m^3 and maximum values of 949 and 925 Bq/m^3, respectively ($K_{Q(VSH)} = 2.6$, $K_{Q(WT)} = 2.5$). In the area between the faults, there is an area with reduced values of radon concentration (Fig. 6, W).

Within the "Parma" profile, the fault is fixed along the middle line of the RVA plot of 500 Bq/m^3 with a maximum value of 1177 Bq/m^3, K_Q=2.6. To the left of the main peak corresponding to the fault, there is another area of increased RVA values 1.5—2 km wide (Fig. 6, Z).

On the "Sheryag" profile, 9 observation points were worked out, the RVA chart is very similar in shape to the Parma profile chart, with RVA maximum of 2010 Bq/m^3 (K_Q=2.1) in the fault zone and a previous increase in RVA values (Fig. 6, I).

On the graph, which corresponds to the "Smolyanka" profile, there is a chaotic change in the concentration of radon in the soil air, where the values vary from 75 to 763 Bq/m^3. This is explained by the fact that most of the profile runs along the fault zone. For this reason, the specification of the location of West-Timan fault turned out to be difficult in this area (Fig. 6, K).

The RVA plot along the "Yn" profile line is characterized by two RVA maxima with values of 1217 and 1590 Bq/m^3, the first of which corresponds to the fault zone, the second is already in the Timan thrust zone (Fig. 6, L). Here the largest value of $K_Q = 14.4$ is observed.

According to the "Beloborsk" profile in the radon field, the boundary between the Vychegda depression, which is characterized by RVA values reaching only 150 Bq/m^3, and Timan, where differences in radon activity are observed in the range of 380—745 Bq/m^3, $K_Q = 2.8$ (Fig. 6, M).

Based on the analysis of the express emanation survey data, the following conclusions were obtained:

1. The southern and central parts of the West Timan fault are generally characterized by increased RVA values within 400—2150 Bq/m^3. The RVA plots clearly show an increase in values from the Timan troughs to the Timan thrust, where the radon volumetric activity remains stably high.

2. RVA values for the Sindor block are 70—2074 Bq/m^3, average RVA values are 600 Bq/m^3; Nivshera block — 46—2144 Bq/m^3, average — 670 Bq/m^3; Beloborsk block — 23—2010 Bq/m^3, average — 670 Bq/m^3. The average relative indicator of the volumetric activity of radon in the Beloborsk block is $K_Q = 2.0$, in the Nivshera block — $K_Q = 5.4$, in the Sindor block — $K_{Q(south)} = 2.0$, $K_{Q(north)} = 6.0$.

3. Considering sections along separate profiles, without being tied to blocks, three areas of increased values are distinguished — 1-Obdyr; 2-Troitsk, Ozyag, Parma, Sheryag; 3-Yn.

4. Soil radon spread beyond the boundaries of tectonic faults due to increased fracturing of the upper horizons of the sedimentary cover; therefore, the width of the radon anomaly always exceeds the width of the fault itself.

Thus, with insufficient seismic knowledge and low differentiation of potential fields, emanation radon survey can be used as an additional method for identifying and tracing tectonic faults.

Conclusion

To solve the tasks, we used a set of standard geophysical surveys, involving detailed magnetic surveys, and also express radon measurements.

Interpretation of these potential fields allowed identifying blocks of different nature of the fields: Beloborsk, Nivshera and Sindor, and the analysis of seismic data — a fault zone with a relatively small error.

Detailed magnetic surveys have shown that it is impossible to trace the West Timan Fault in a magnetic field, both in the gradient areas of the field and within the regional maxima and minima. It can be only noted that the width of the gradient zone is generally less than the zones of maxima and minima. In some cases, it can only be traced along a series of dikes of basic and ultrabasic rocks, but they may not be located in the frontal fault zone.

Express emanation survey showed that the West Timan thrust, in general, is characterized by increased values of radon volumetric activity, where they are further traced to the territory of Timan, while areas of different intensity are distinguished. The survey results allow applying this method as an addition to a set of standard methods for identifying and tracing faults, as well as to judge their activity, and even more in the case of insufficient seismic knowledge and low differentiation of potential fields.

Particular attention should be paid to the Sindor block, where a sharp gradient region is noted in the magnetic field, against which a series of dikes stand out. Also, this zone is characterized by a high K_Q.

References

1. Bashilov V. I. *Razlomy fundamenta severa Vostochno-Yevropeyskoy platformy, ikh tektonicheskoye znacheniye i metody vyyavleniya* (Faults in the basement of the north of the East European Platform, their tectonic significance and methods of detection). Geology and geochemistry of the north of the European part of the USSR. Moscow: MGPI, 1983, pp. 105—119.

2. Bashilov V. I. *Razlomy i endogennyye rezhimy Timano-Pechorskogo basseyna* (Faults and endogenous regimes of the Timan-Pechora basin). Problems of the evolution of the tectonosphere. Moscow: IEP RAS, 1997, pp. 126—146.

3. Bogdanov N. A., Khain V. E. *Obasnitelnaya zapiska k tektonicheskoy karte Barentseva morya i severnoy chasti yevropeyskoy Rossii masshtaba 1:2500000* (Explanatory note to the tectonic map of the Barents Sea and the northern part of European Russia, scale 1:2500000). Moscow, 1996, 26 p.

4. Bulin N. K., Berlyand N. G., Bulavko L. F. *Glubinnoye stroyeniye Timano-Pechorskoy provintsii (po geofizicheskim dannym)* (Deep structure of the Timan-Pechora province (based on geophysical data)). Sov. Geology, 1976, No. 1, pp. 115—123.

5. Valeev R. N. *Tektonika Vyatsko-Kamskogo mezhdurech'ya* (Tectonics of the Vyatka-Kama interfluve). Moscow: Nedra, 1968, 109 p.

6. Gafarov R. A. *Stroyeniye skladchatogo fundamenta Vostochno-Yevropeyskoy platformy po geofizicheskim dannym* (Structure of the folded basement of the East European Platform according to geophysical data). Proceedings AS USSR, 1963, No. 8, pp. 56—67.

7. Getsen V. G. *Tektonika Timana* (Timan tectonics). Leningrad: Nauka, 1987, 172 p.

8. *Glubinnoye stroyeniye territorii SSSR* (Deep structure of the territory of the USSR). V.V. Belousov, N. I. Pavlenkova, G. N. Kvyatkovskaya, A. V. Egorkin. Moscow: Nauka, 1991, 224 p.

9. Dedeev V. A. *Struktura dokembriyskogo fundamenta Russkoy plity* (The structure of the Precambrian basement of the Russian Plate). Geology and Minerals of the North-East of the European Part of the USSR and the North of the Urals. Proceedings of conference, Syktyvkar, 1971, pp. 286—288.

10. Dedeev V. A., Shustova V. E. *Geobloki Yevropeyskoy chasti SSSR* (Geoblocks of the European part of the USSR). Syktyvkar, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1976, 25, 51 p.

11. Dedeev V. A., Zaporozhtseva I. V. *Zemnaya kora Yevropeyskogo Severo-Vostoka SSSR* (The Earth's crust of the European North-East of the USSR). Leningrad: Nedra, 1985, 96 p.

12. Zhuravlev V. S. *Sravnitelnaya tektonika Pechorskoy, Prikaspiyskoy i Severomorskoy ekzogonal'nykh vpadin Yevropeyskoy platformy* (Comparative tectonics of the Pechora, Caspian and North Sea exogonal depressions of the European Platform). Moscow: Nauka, Proceedings of GIN AS USSR, 1972, 223, 400 p.

13. Zaporozhtseva I. V., Pystin A. M. *Stroyeniye dofanerozoyskoy litosfery Yevropeyskogo Severo-Vostoka Rossii* (The structure of the pre-Phanerozoic lithosphere of the European North-East of Russia). St. Petersburg: Nauka, 1994, 112 p.

14. Kalinina O. A., Fotiadi E. E. *Krupnyye cherty tektonicheskoy struktury Severo-Vostoka yevropeyskoy chasti SSSR po geologicheskim i geofizicheskim dannym* (Large features of the tectonic structure of the North-East of the European part of the USSR according to geological and geophysical data). Geology and oil and gas potential of the Timan-Pechora region, Leningrad: VNIGRI, 1959, 133, pp. 383—409.

15. Map of the anomalous magnetic field at a scale of 1:1000000. Edited by P. A. Kukin, 1966-1967.

16. Map of the gravitational field at a scale of 1:1000000. Edited by N. B. Sazhina, 1960—1961.

17. N. V. Konanova, V. V. Udoratin, Magomedova A. Sh. *Magnitnyye anomalii zony sochleneniya severo-vostochnoy chasti Volgo-Ural'skoy anteklizy i Vychegodskogo progiba* (Magnetic anomalies of the junction zone of the northeastern part of the Volga-Ural anteclise and the Vychegodsk trough). Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, 2017, No. 12, pp. 25—30.

18. Kostyuchenko S. L. *Struktura i tektonicheskaya model' zemnoy kory Timano-Pechorskogo basseyna po rezul'tatam kompleksnogo geologo-geofizicheskogo izucheniya* (Structure and tectonic model of the earth's crust of the Timan-Pechora basin based on the results of a comprehensive geological and geophysical study). Tectonics and magmatism of the East European platform, Moscow, 1994, pp. 121—123.

19. Levshenko V. T., Grigoryan A. G. *Ispol'zovaniye dannykh kompleksnykh issledovaniy pri opredelenii polozheniya razlomov v platformennykh rayonakh (na primere Roslavl'skogo razloma)* (Use of complex research data in determining the position of faults in platform areas (on the example of the Roslavl fault)). Geophysical Research, 2015, V. 16, No. 3, pp. 55—62.

20. Malyshev N. A. *Razlomy Evropeyskogo Severo-Vostoka SSSR v svyazi s neftegazonosnostyu* (Faults of the European North-East of the USSR in connection with oil and gas potential). Leningrad: Nauka, 1986, 112 p.

21. Malyshev N. A. *Tektonika, evolyutsiya i neftegazonosnost' osadochnykh basseynov yevropeyskogo severa Rossii* (Tectonics, evolution and oil and gas potential of sedimentary basins in the European North of Russia). Yekaterinburg, UB RAS, 2002, 150 p.

22. Ovsyuchenko A. N., Khilko A. V., Shvarev S. V., Kostenko K. A., Marakhanov A. V., Rogozhin E. A., Novikov S. S., Larkov A. S. *Kompleksnyye geologo-geofizicheskiye issledovaniya aktivnykh razlomov v Sochi — Krasnopolyanskom rayone* (Integrated geological and geophysical studies of active faults in Sochi — Krasnopolyansk region) Physics of the Earth, 2013, No. 6, pp. 116—138.

23. Olovyanishnikov V. G., Bushuev A. S., Dokhsanyants E. P. *Stroyeniye zony sochleneniya Russkoy i Pechorskoy plit po geologo-geofizicheskim dannym* (The structure of the junction zone of the Russian and Pechora plates according to geological and geophysical data). Doklady Earth Sciences, 1996, V. 351, No. 11, pp. 88—92.

24. Raznitsyn V. A. *Tektonicheskaya karta Komi ASSR i sopredel'nykh rayonov. Voprosy geologii severo-vostoka Russkoy platformy, pechorskogo Urala i poluostrova Kanin* (Tectonic map

of the Komi ASSR and adjacent areas. Questions of geology of the northeast of the Russian platform, the Pechora Urals and the Kanin peninsula). Proceedings of Institute of Geology, Komi branch AS USSR, Syktyvkar, 1963, 4, pp. 3—13.

25. Raznitsyn V. A. *Tektonika Yuzhnogo Timana* (Tectonics of the South Timan). Moscow: Nauka, 1964, 150 p.

26. Seminsky K. Zh., Bobrov A. A., Demberel S. *Variatsii obyemnoy aktivnosti radona v razlomnykh zonakh zemnoy kory: prostranstvennyye osobennosti* (Variations in the volumetric activity of radon in the fault zones of the earth's crust: spatial features). Physics of the Earth, 2014, No. 6, pp. 80—98.

27. Seminsky K. Zh., Bobrov A. A., Demberel S. *Sootnosheniye radonovoy i tektonicheskoy aktivnosti razlomov v Tsentralnoy Mongolii* (Correlation between radon and tectonic activity of faults in Central Mongolia). Doklady Earth Sciences, 2019, V. 487, No. 5, pp. 538—541.

28. *Struktura platformennogo chekhla Evropeyskogo Severa SSSR* (Structure of the Platform Cover of the European North of the USSR). Ed. V.A. Dedeev. Leningrad: Nauka, 1982, 200 p.

29. Udoratin V. V., Konanova N. V. *Glubinnoye stroyeniye litosfery po profilyu MEZTIMPECH* (Deep structure of the lithosphere along the MEZTIMPECH profile). Otechestvennaya Geologiya, 2000, No. 1, pp. 44—50.

30. Udoratin V. V. *Glubinnoye stroyeniye i seysmichnost' yuzhnykh rayonov Respubliki Komi* (Deep structure and seismicity of the southern regions of the Komi Republic). Yekaterinburg: UB RAS, 2002, 72 p.

31. Udoratin V. V., Ezimova Yu. E., Magomedova A. Sh. *Obyemnaya aktivnost radona v predelakh razlomnykh zon Kirovsko-Kazhimskogo i Pechoro-Kolvinskogo avlakogenov* (Volumetric activity of radon within the fault zones of the Kirov-Kazhim and Pechora-Kolva aulacogens) Litosfera, 2017, No. 6, pp. 136—152.

32. Udoratin V. V., Magomedova A. Sh., Ezimova E. Yu. *Kompleksnyye geofizicheskiye issledovaniya razlomnykh zon Vychegodskogo progiba* (Complex geophysical studies of fault zones of Vychegda depression). Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. Syktyvkar, No. 12, 2018, pp. 3—11. DOI 10.19110/2221-1381-2018-12-3-11

33. Udoratin V. V., Magomedova A. Sh., Ezimova Yu. E. *Rezultaty geofizicheskikh issledovaniy Zapadno-Timanskogo razloma* (Results of geophysical studies of the West Timan fault). Proceedings of the Komi Scientific Center UB RAS. Earth Sciences series. Syktyvkar, No. 1(41), 2020, pp. 55—68. DOI 10.19110/1994-5655-2020-1-55-68

34. *Fundament Timano-Pechorskogo neftegazonosnogo basseyna* (Basement of the Timan-Pechora oil and gas basin). L.T. Belyakova, V. I. Bogatsky, B. P. Bogdanov, E. G. Dovzhikova, V. M. Laskin. Kirov: Publishing House of Kirov Regional Printing House, 2008, 228 p.

35. Shablinskaya N. V. *Razlomnaya tektonika Zapadno-Sibirskoy i Timano-Pechorskoy plit i voprosy neftegazonostnosti paleozoya* (Fault tectonics of the West Siberian and Timan-Pechora plates and issues of oil and gas content of the Paleozoic). Proceedings of All-Union oil research geological institute, Leningrad: Nedra, 1982, 155 p.

36. Yudakhin F. N., Shchukin Yu. K., Makarov V. N. *Glubinnoye stroyeniye i sovremennyye geodinamicheskiye protsessy v litosfere Vostochno-Yevropeyskoy platformy* (Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European Platform). Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2003, 299 p.

37. Lopez J., Dena Ornelas O., Sago-Bohus L., Rodriguez G., Chavarria I. Correlation between underground radon gas and dormant geological faults. Journal of Nuclear Physics. Material Sciences, Radiation and Applications, 2016, V. 4, No. 1, pp. 265—275.

Литература

1. *Башилов В. И.* Разломы фундамента севера Восточно-Европейской платформы, их тектоническое значение и методы выявления // Геология и геохимия севера европейской части СССР. М.: МГПИ, 1983. С.105—119.

2. *Башилов В. И.* Разломы и эндогенные режимы Тимано-Печорского бассейна // Проблемы эволюции тектоносферы. М.: ОИФЗ РАН, 1997. С. 126—146.

3. *Богданов Н. А., Хаин В. Е.* Объяснительная записка к тектонической карте Баренцева моря и северной части европейской России масштаба 1:2500000. М., 1996. 26 с.

4. *Булин Н. К., Берлянд Н. Г., Булавко Л. Ф.* Глубинное строение Тимано-Печорской провинции (по геофизическим данным) // Сов. геология, 1976. №1. С. 115—123.

5. *Валеев Р. Н.* Тектоника Вятско-Камского междуречья. М.: Недра, 1968. 109 с.

6. *Гафаров Р. А.* Строение складчатого фундамента Восточно-Европейской платформы по геофизическим данным // Изв. АН СССР. 1963. № 8. С. 56—67.

7. *Гецен В. Г.* Тектоника Тимана. Л.: Наука, 1987. 172 с.

8. *Глубинное* строение территории СССР / В. В. Белоусов, Н.И. Павленкова, Г. Н. Квятковская, А. В. Егоркин. М.: Наука, 1991. 224 с.

9. *Дедеев В. А.* Структура докембрийского фундамента Русской плиты // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР и Севера Урала. Тр.VII геол. конференции Коми АССР. Сыктывкар, 1971. С. 286—288.

10. *Дедеев В. А., Шустова В. Е.* Геоблоки Европейской части СССР. Сыктывкар: Изд-во АН СССР. Тр. Коми фил., 1976. Вып. 25. 51 с.

11. *Дедеев В. А., Запорожцева И. В.* Земная кора Европейского Северо-Востока СССР. Л.: Недра, 1985. 96 с.

12. *Журавлев В. С.* Сравнительная тектоника Печорской, Прикаспийской и Североморской экзогональных впадин Европейской платформы. М.: Наука,1972. Тр. ГИН АН СССР. Вып. 223. 400 с.

13. *Запорожцева И. В., Пыстин А. М.* Строение дофанерозойской литосферы Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 1994. 112 с.

14. *Калинина О. А., Фотиади Э. Э.* Крупные черты тектонической структуры Северо-Востока европейской части СССР по геологическим и геофизическим данным // Геология и нефтегазоносность Тимано-Печорской области. Л.,1959. Тр. ВНИГРИ. Вып. 133. С. 383—409.

15. *Карта* аномального магнитного поля масштаба 1:1000000 / под ред. П. А. Кукина, 1966—1967.

16. *Карта* гравитационного поля масштаба 1:1000000/ под ред. Н. Б. Сажиной, 1960—1961.

17. *Конанова Н. В., Удоратин В. В., Магомедова А. Ш.* Магнитные аномалии зоны сочленения северо-восточной части Волго-Уральской антеклизы и Вычегодского прогиба // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. №12. С. 25—30.

18. *Костюченко С. Л.* Структура и тектоническая модель земной коры Тимано-Печорского бассейна по результатам комплексного геолого-геофизического изучения // Тектоника и магматизм Восточно-Европейской платформы. М., 1994. С. 121—123.

19. *Левшенко В. Т., Григорян А. Г.* Использование данных комплексных исследований при определении положения разломов в платформенных районах (на примере Рославльского разлома) // Геофизические исследования, 2015. Т. 16. № 3. С. 55—62.

20. *Малышев Н. А.* Разломы Европейского Северо-Востока СССР в связи с нефтегазоносностью. Л.: Наука, 1986. 112 с.

21. *Малышев Н. А.* Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов европейского севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 150 с.

22. *Овсюченко А. Н., Хилько А. В., Шварев С. В., Костенко К. А., Мараханов А. В., Рогожин Е. А., Новиков С. С., Ларьков А. С.* Комплексные геолого-геофизические исследования активных разломов в Сочи — Краснополянском районе // Физика земли. 2013. №6. С. 116—138.

23. *Оловянишников В. Г., Бушуев А. С., Дохсаньянц Э. П.* Строение зоны сочленения Русской и Печорской плит по геолого-геофизическим данным // Докл. РАН. 1996. Т. 351, № 11. С. 88—92.

24. *Разницын В. А.* Тектоническая карта Коми АССР и сопредельных районов // Вопросы геологии северо-востока Русской платформы, печорского Урала и полуострова Канин. Тр. Ин-та геологии Коми филиала АН СССР. Сыктывкар, 1963. Вып. 4. С. 3—13.

25. *Разницын В. А.* Тектоника Южного Тимана. М.: Наука, 1964. 150 с.

26. *Семинский К. Ж., Бобров А. А., Дэмбэрэл С.* Вариации объемной активности радона в разломных зонах земной коры: пространственные особенности // Физика Земли. 2014. № 6. С. 80—98.

27. *Семинский К. Ж., Бобров А. А., Дэмбэрэл С.* Соотношение радоновой и тектонической активности разломов в Центральной Монголии // Доклады академии наук. 2019. Т. 487. № 5. С. 538—541.

28. *Структура* платформенного чехла Европейского Севера СССР / Под ред. В. А. Дедеева. Л.: Наука, 1982. 200 с.

29. *Удоратин В. В., Конанова Н. В.* Глубинное строение литосферы по профилю MEZTIMPECH // Отечественная геология. 2000. № 1. С. 44—50.

30. *Удоратин В. В.* Глубинное строение и сейсмичность южных районов Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 72 с.

31. *Удоратин В. В., Езимова Ю. Е., Магомедова А. Ш.* Объемная активность радона в пределах разломных зон Кировско-Кажимского и Печоро-Колвинского авлакогенов // Литосфера. 2017. № 6. С. 136—152.

32. *Удоратин В. В., Магомедова А. Ш., Езимова Ю. Е.* Комплексные геофизические исследования разломных зон Вычегодского прогиба // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. № 12. 2018. С. 3—11. DOI 10.19110/2221-1381-2018-12-3-11

33. *Удоратин В. В., Магомедова А. Ш., Езимова Ю. Е.* Результаты геофизических исследований Западно-Тиманского разлома. // Известия Коми НЦ УрО РАН. Серия «Науки о Земле». № 1 (41). 2020. С. 55—68. DOI 10.19110/1994-5655-2020-1-55-68

34. *Фундамент* Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна / Л.Т. Белякова, В. И. Богацкий, Б. П. Богданов, Е. Г. Довжикова, В. М. Ласкин. Киров: Кировская областная типография, 2008. 228 с.

35. *Шаблинская Н. В.* Разломная тектоника Западно-Сибирской и Тимано-Печорской плит и вопросы нефтегазоносности палеозоя // Тр. Всесоюз. нефт. науч.-исслед. геол.-развед. ин-та. Л.: Недра, 1982. 155 с.

36. *Юдахин Ф. Н., Щукин Ю. К., Макаров В. Н.* Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 299 с.

37. *Lopez J., Dena Ornelas O., Sago-Bohus L., Rodriguez G., Chavarria I.* Correlation between underground radon gas and dormant geological faults // Journal of Nuclear Physics. Material Sciences, Radiation and Applications. 2016. V. 4. No. 1. P. 265–275.

Received / Поступила в редакцию 22.02.2022

УДК 552.3:552.4(234.83) DOI: 10.19110/geov.2022.3.2

Пространственные закономерности позднепротерозойско-кембрийских эндогенных процессов Канино-Тимано-Печорского региона

В. И. Степаненко*

Территориальный фонд информации по природным ресурсам
и охране окружающей среды Республики Коми, Сыктывкар

Проведены обобщение фактического материала по магматизму и метаморфизму Канино-Тимано-Печорского региона и пространственный анализ размещения продуктов эндогенных процессов в позднем протерозое — раннем кембрии. Выявлена концентрированная локализация продуктов двух автономных мантийных плюмов, дававших начало магматическим комплексам и относительно высокотемпературному региональному метаморфизму в двух обособленных друг от друга пространствах — «Северном» и «Южном». Они разделены амагматичной территорией протяженностью 250—300 км с относительно низким уровнем региональных метаморфических преобразований осадочных пород.

Ключевые слова: *магматизм, метаморфизм, Тиманский мегаблок, поздний докембрий, мантийный плюм.*

Spatial regularities of the Late Proterozoic-Cambrian endogenous processes in the Kanin-Timan-Pechora region

V. I. Stepanenko*

Territorial Information Fund of Natural Resources and Environmental Protection of the Komi Republic, Syktyvkar

The article presents data summarization on magmatism and metamorphism of the Kanin-Timan-Pechora region and spatial analysis of the distribution of endogenous processes products in Late Proterozoic — Early Cambrian. A concentrated localization of the products of two mantle plumes, which gave rise to igneous complexes and relatively high-temperature regional metamorphism, was revealed in "Northern" and "Southern" areas separated from each other by an amagmatic area 250—300 km long with a relatively low level of regional metamorphic transformation of sedimentary rocks.

Keywords: *magmatism, metamorphism, Timan megablock, Late Precambrian, mantle plume.*

Введение

Канино-Тимано-Печорский регион (КТПР) включает в себя хр. Канин Камень, Тиманский кряж, Ижма-Печорскую впадину и соответствует Тиманскому мегаблоку фундамента Печорской плиты, который наращивает с северо-востока эпикарельский остов Восточно-Европейского кратона. От остальной части плиты (Большеземельского мегаблока) он отделен Чаркаю-Пылемецкой и Илыч-Чикшинской зонами разломов (рис. 1). Эти зоны фиксируют местоположение рифтовых зон и образовавшихся вследствие их замыкания зон субдукции восточных частей Печорской плиты и Тиманского мегаблока [3—5].

В отличие от внутренних (восточных в современных координатах) частей плиты, Тиманский мегаблок формировался на коре континентального типа [5]. Его становление сопровождалось особым набором и последовательностью эндогенных петрогенетических процессов, которые генерировались глубинными потоками вещества и энергии, вызывавшими плавление и преобразование субстратов как в земной коре, так и в мантии.

Свидетельством таких преобразований на уровне мантии является обнаружение ксенолитов флогопитизированных эклогитов в кимберлитах на Среднем Тимане. По особенностям химического состава первичных минералов (пиропа и омфацита) эклогиты принадлежат к мантийным породам графит-пироповой фации глубинности. Флогопит замещает и обрастает минералы эклогитов. Возрастные характеристики, определенные K-Ar-методом, составляют 1130 ± 45 млн лет для эклогита (порода в целом) и 980 ± 34 млн лет для флогопита [16].

* 6 декабря 2021 года закончил свой земной путь Виталий Иванович Степаненко — известный исследователь Тимана, проработавший в Институте геологии четверть века. И хотя с 1996 года его деятельность не была связана с наукой, вопросами геологии Тимана и сопредельных территорий он продолжал интересоваться. Свидетельством тому являются публикации, посвященные плюмовому магматизму северо-восточного обрамления Восточно-Европейской платформы.

За две недели до кончины Виталий Иванович попросил посмотреть материалы, которые собирал для статьи, и, осознавая, что не успеет ее закончить, по возможности доработать и опубликовать в соавторстве. Ознакомившись с рукописью, мы поняли, что она практически готова, поэтому сделали лишь незначительные исправления, сохранив все его представления и выводы по рассматриваемой проблеме.

Д. г.-м. н. В. Л. Андреичев, к. г.-м. н. А. А. Соболева

Для цитирования: Степаненко В. И. Пространственные закономерности позднепротерозойско-кембрийских эндогенных процессов Канино-Тимано-Печорского региона // Вестник геонаук. 2022. 3(327). С. 16—24. DOI: 10.19110/geov.2022.3.2.

For citation: Stepanenko V. I. Spatial regularities of the Late Proterozoic-Cambrian endogenous processes in the Kanin-Timan-Pechora region. Vestnik of Geosciences, 2022, 3 (327), pp. 16—24, doi: 10.19110/geov.2022.3.2.

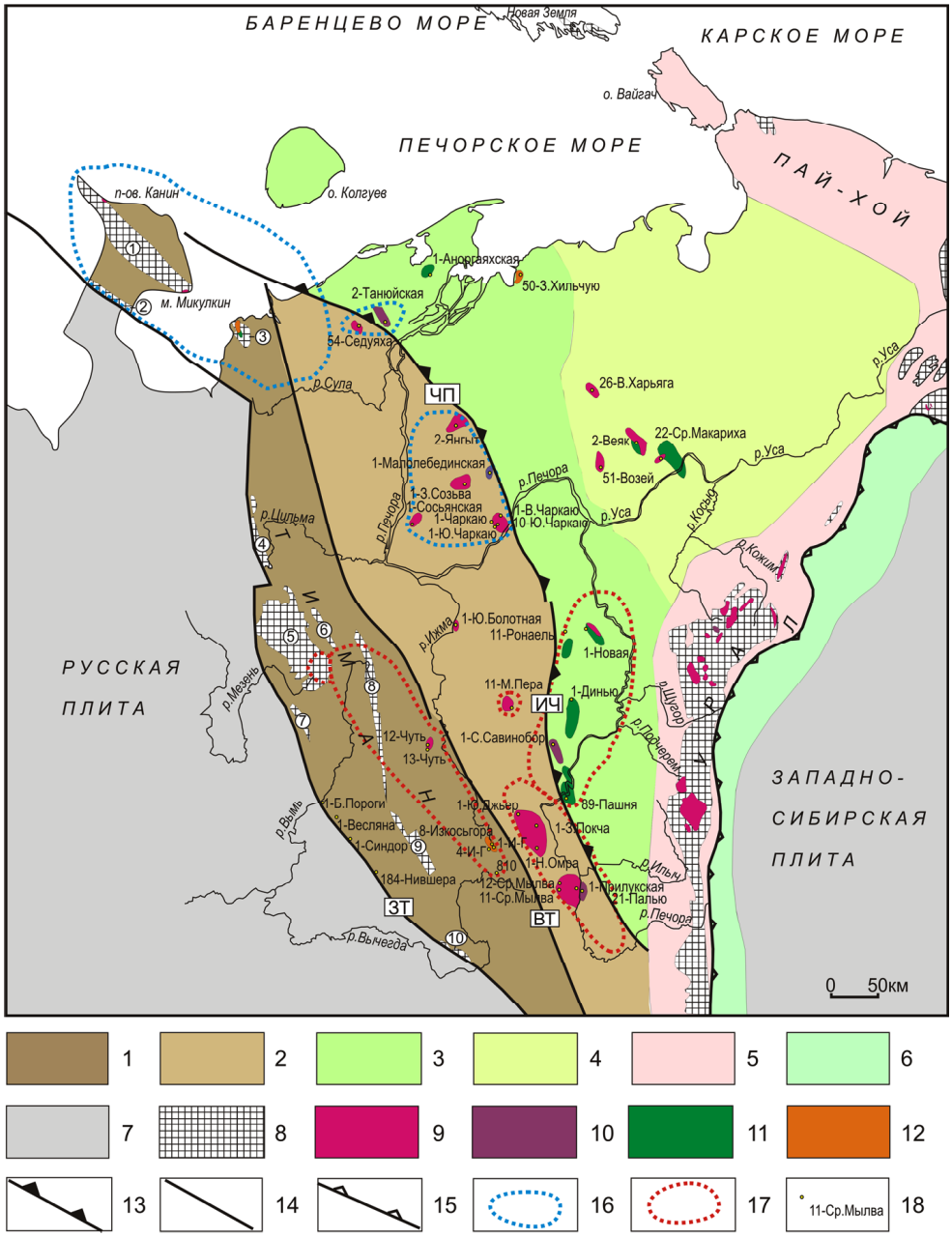


Рис. 1. Геологическая схема фундамента Печорской плиты по: [Белякова и др., 2008] с дополнениями

1—4 — коровые блоки фундамента Печорской плиты: 1—2 — Тиманский мегаблок: 1 — Тиманская и 2 — Ижемская зоны, 3—4 — Большеземельский мегаблок: 3 — Печорская и 4 — Большеземельская зоны; 5 — Западно-Уральская мегазона и Пай-Хой; 6 — Восточно-Уральская мегазона; 7 — Русская и Западно-Сибирская плиты; 8 — места выходов на поверхность допозднекембрийских пород; 9—12 — неопротерозойские плутонические породы, вскрытые скважинами или выходящие на поверхность: 9 — граниты и гранодиориты, 10 — габбродиориты, диориты и плагиограниты, 11 — габбро, 12 — габбро, граносиениты, сиениты и монцониты; 13 — Припечорская система разломов: Чаркаю-Пылемецкая (ЧП) и Ильич-Чикшинская (ИЧ) зоны разломов; 14 — Западно-Тиманский (ЗТ) и Восточно-Тиманский (ВТ) разломы; 15 — Главный Уральский надвиг; 16—17 — участки проявления эндогенной активности в пределах пространств: 16 — «Северного» и 17 — «Южного»; 18 — места расположения глубоких скважин. Цифры в кружках: 1 — хребет Канин Камень, 2 — мысы Лудоватые, 3 — Северный Тиман, 4 — Цилемский вал, 5 — Четласское поднятие, 6 — Кислоручейский вал, 7 — Обдырское поднятие, 8 — Вымская гряда, 9 — Очпарма, 10 — Джеджимпарма

Fig. 1. Geological scheme of the basement of the Pechora plate according to [5] with additions

1—4 — crustal blocks of the basement of the Pechora Plate: 1—2 — Timan megablock: 1 — Timan and 2 — Izhma zones; 3—4 — Bolshezemelskii megablock: 3 — Pechora and 4 — Bolshezemelskaya zones; 5 — West Uralian megazone and Pay-Khoy; 6 — East Uralian megazone; 7 — Russian and West Siberian plates; 8 — outcrops of pre-Late Cambrian rocks; 9—12 — Neoproterozoic plutonic rocks drilled by boreholes or exposed to the surface: 9 — granites and granodiorites; 10 — gabbrodiorites, diorites, and plagiogranites; 11 — gabbro; 12 — gabbro, granosyenites, syenites, and monzonites; 13 — Pripechora fault system: Charkayu-Pylemetskaya (ЧП) and Ilych-Chikshinskaya (ИЧ) fault zones; 14 — West Timan (3T) and East Timan (BT) faults; 15 — Main Uralian thrust fault; 16—17 — sites of endogenous activity display within the areas: 16 — “Northern” and 17 — “Southern”; 18 — locations of deep boreholes. Numbers in circles: 1 — Kanin Kamen’ ridge, 2 — Ludovatye capes, 3 — Northern Timan, 4 — Tsil’ma uplift, 5 — Chetlas uplift, 6 — Kisloruchey uplift, 7 — Obdyr uplift, 8 — Vym’ ridge, 9 — Ochparma, 10 — Dzhedzhimparma

В монографии [12] по имевшимся на то время геологическим и геохронологическим данным была прослежена последовательность эндогенных процессов в позднем протерозое — раннем кембрии Канино-Тиманского региона, которая представлялась следующим образом:

• толеитовый магматизм;

• региональный метаморфизм и палингенное гранитообразование в зонах метаморфизма амфиболитовой фации;

• разноочаговый габбро-сиенит-гранитовый магматизм и сопряженный с ним щелочной флюидный поток;

• щелочной базитовый и ультрамафитовый магматизм и сопряженный с ним щелочной флюидный поток.

Накопленный к настоящему времени фактический материал и главным образом данные бурения по верхнепротерозойскому фундаменту к востоку от Тиманского кряжа позволили выполнить пространственный анализ размещения продуктов эндогенных процессов. При этом обнаружена концентрированная локализация продуктов плюмов, дававших начало магматическим комплексам [18] и относительно высокотемпературному региональному метаморфизму в двух обособленных друг от друга пространствах. «Северное» пространство включает хр. Канин Камень и Северный Тиман, а также прилегающую к ним с востока территорию до Чаркаю-Пылемецкой зоны разломов. «Южное» пространство охватывает южную часть Среднего Тимана, северную часть Южного Тимана и расположенную к востоку территорию до Илыч-Чикшинской зоны разломов (рис. 1). Эти пространства разделены амагматичной территорией с относительно низким уровнем региональных метаморфических преобразований осадочных пород.

Толеитовый магматизм

Наиболее полное описание толеитовых магматитов дано в работе [12], в которой выделено четыре магматических комплекса.

На Северном Тимане локализован барминско-чернорецкий габбро-долеритовый комплекс, представленный относительно крупными интрузивами, ассоциируемыми с гранитами массивов Большой Камешек и Сопки Каменные. Их размеры варьируют от первых тысяч квадратных метров до нескольких квадратных километров. В Бугровской зоне разломов рядом скважин вскрыты тела базитов, содержащих медно-никелевую сульфидную минерализацию [7, 19]. Первичный минеральный состав, установленный по реликтам магматогенных минералов, характеризуется комбинацией плагиоклаза, клинопироксена и интерстициального микропегматита. В редких случаях и в небольшом количестве к ним присоединяется коричневая роговая обманка типа баркевикита. Цветовой индекс базитов, варьирующий в интрузивах Сопок Каменных и Большого Камешка от 40 до 50 %, обратно пропорционален содержанию микропегматита (0–5 %). Для дайкообразного интрузива мыса Бармин цветовой индекс снижается до 25 %, а содержание микропегматита увеличено до 12—14.5 %. Это наиболее лейкократовые разности базитов комплекса. Породы претерпели региональный метаморфизм. Современный минеральный состав интрузивных базитов, как правило, соответствует парагенезису зеленосланцевой фации метаморфизма: кислый плагиоклаз + уралитовая роговая обманка и (или) актинолит + эпидот + титанит ± биотит ± хлорит.

Северотиманско-канинский долеритовый комплекс представлен маломощными до 1–2, реже до 5 м дайками и силлами протяженностью от нескольких десятков метров до 2 км, распространёнными как на Северном Тимане, так и на хр. Канин Камень. Базиты метаморфизованы изофациально с вмещающими толщами. В условиях зеленосланцевой фации преобразования минерального состава долеритов выражаются в деанортизации плагиоклаза, развитии уралитовой роговой обманки, актинолита, эпидота и иногда биотита и хлорита. В большинстве случаев при этом сохраняется возможность определения первичных магматогенных структур. Базиты, преобразованные в условиях амфиболитовой фации, представляют собой ортоамфиболиты состава: роговая обманка + андезин + + клиноцоизит, развивающийся по плагиоклазу, + биотит, развивающийся по роговой обманке, + гранат. Они выявлены в микулкинской антиклинали, расположенной в юго-восточной части хр. Канин Камень, а также в районе устья р. Б. Пидерцелха на северо-западе хр. Канин Камень.

Барминско-чернорецкий комплекс полагался более древним, потому что известны пересечения его интрузивов дайками долеритов северотиманско-канинского комплекса. Однако площади распространения этих комплексов совмещены. Известно также, что длительность действия толеитовых плюмов составляет обычно несколько миллионов лет [14]. Тела долеритового комплекса часто пропилитизированы, что вызвано их контактами со слаболитифицированными вмещающими осадочными породами. Для тел базитов, вскрытых скважинами в Бугровской зоне разломов, установлено, что они внедрялись в слаболитифицированные толщи [19].

Породы среднетиманского долеритового комплекса выявлены в юго-восточной части Четласского Камня. Отдельные тела зафиксированы скважинами, вскрывшими фундамент в пределах Ижемской зоны. Комплекс представлен дайками и силлами мощностью до 5 м, но обычно менее 1 м. Долериты преобразованы, часто пропилитизированы и изменены региональным метаморфизмом изофациально с вмещающими осадочными породами. Слабометаморфизованные долериты обнаружены к западу от Центрально-Тиманского разлома. Они обладают первичной порфировидной структурой с хорошо выраженными вкрапленниками плагиоклаза (An_{30-50}) и гломеропорфировыми сростками авгита. Во внутренних частях тел относительно большой (~5 м) мощности фиксируется развитие интерстициального микропегматита. В отдельных телах отмечено присутствие коричневой роговой обманки, формирующей узкие каймы вокруг кристаллов клинопироксена. К востоку от Центрально-Тиманского разлома долериты сложены фибробластовым агрегатом актинолита, кислым плагиоклазом, эпидотом, хлоритом. В зависимости от обстановки может присутствовать биотит. По минеральному составу они аналогичны базитам северотиманско-канинского долеритового комплекса.

К среднетиманскому комплексу целесообразно также относить вскрытую скв. 810 на Южном Тимане интрузию кварцевых габбро-долеритов (выделявшуюся в самостоятельный южнотиманский габбро-долеритовыый комплекс). Породы имеют диабазовую структуру. Их состав: соссюритизированный плагиоклаз (андезин-лабрадор) — до 30 %, клинопироксен, замещенный уралитом, — до 30 %, хлорит — до 10 %, карбонаты — до 10 %, рудные минералы и апатит — до 10 %. Во внутренней части тела появляются обильные участки микропегматитов. Далее на юго-восток, а также на Очпарме и Джеджимпарме долеритов не обнаружено.

Среднетиманский долеритовый комплекс отделен от северотиманско-канинского комплекса амагматическим пространством, протяженность которого в общетиманской ориентировке составляет 250—300 км. Таким образом, в Тиманском мегаблоке в позднем рифее субсинхронно состоялись два пространственно обособленных акта толеитового магматизма, вызванные пространственно разобщенными плюмами.

Региональный метаморфизм и палингенное гранитообразование

Исследования регионального метаморфизма в КТПР выполнялись ранее преимущественно по площадям выхода верхнепротерозойских пород под четвертичные отложения. Однако суммарная площадь таких выходов составляет около 20 % от площади региона, что затрудняет возможность объективно судить о пространственных закономерностях протекания метаморфизма. Тем не менее обобщение, выполненное В. Г. Геценым с соавторами [6], а также данные геологических съемок показали, что степень преобразований осадков варьирует от катагенеза до амфиболитовой фации. При этом региональный метаморфизм проявлялся неравномерно даже в пределах отдельных площадей. Этот вывод подтверждают данные по петрографии пород фундамента из керна глубоких скважин, пробуренных к востоку от Тимана.

На хр. Канин Камень выявлено постепенное зональное снижение степени метаморфических преобразований, в общих чертах совпадающее со стратиграфической последовательностью.

Наиболее древняя микулкинская серия, слагающая Микулкинскую антиклиналь в юго-восточной части хребта, представлена кристаллическими сланцами, парагнейсами и амфиболитами, степень преобразований которых отвечает кианит-силлиманитовой и кианит-мусковит-биотитовой субфациям метаморфизма амфиболитовой фации. В зоне кианит-силлиманитовой субфации получили развитие процессы ультраметаморфизма и анатексиса с формированием гранитных пегматитов микулкинского комплекса [10, 12].

Вышележащая тархановская серия в нижней толще представлена слюдистыми кварцитами и гранобластовыми кварц-полевошпат-гранат-слюдистыми породами; в средней части — сланцами кварц-мусковит-биотитовыми и альмандин-кварц-биотитовыми, степень преобразований которых снижается от кианит-мусковит-биотитовой субфации амфиболитовой фации до зеленосланцевой фации. Верхняя толща сложена полевошпат-кварцевыми и аркозовыми песчаниками, в которых фиксируется глинистый ементт, т. е. степень преобразований этих пород снижается до метагенеза.

Завершающая разрез табуевская серия сложена сланцами кварц-мусковитовыми, кварц-мусковит (серицит)-хлоритовыми зеленосланцевой фации.

В северо-западной части хр. Канин Камень, в устье р. Б. Пидерцелха на поверхности обнажен блок верхнепротерозойских образований, представленных ставролит-гранат-биотитовыми сланцами и амфиболитами, диафторированными до уровня мусковит-биотитовой и мусковит-хлоритовой субфаций зеленосланцевой фации. С ними контактируют анатектические двуслюдяные граниты североканинского комплекса [12].

Намечающаяся здесь вертикальная метаморфическая зональность, совпадающая со стратиграфической последовательностью, нарушена резким снижением степени метаморфизма в верхней толще тархановской серии и резким ростом в породах табуевской серии. Это позволяет считать, что тепловой поток, вызывающий минеральные преобразования осадков, был весьма неравнозначным по температуре и выявленная зональность является не только глубинной, но и латеральной.

Обнажающиеся к западу от хр. Канин Камень в районе мысов Лудоватых рифейские карбонатные породы сохраняют осадочные структурно-текстурные характеристики и не обнаруживают значительного влияния метаморфизма.

На Северном Тимане верхнепротерозойские образования вскрыты эрозией на локальных участках, а также скважинами под девонскими осадками. В осадочном комплексе пород выделены чёшская свита и барминская серия. Контакты между стратиграфическими телами не установлены.

Чёшская свита вскрыта скважиной № 112 в нижнем течении р. Песчанки под верхнедевонскими отложениями, в интервале глубин 378.2—404.2 м. Породы представлены двуслюдяными гранат-ставролитовыми сланцами, аналогичными по минеральному составу сланцам в районе р. Б. Пидерцелха на хр. Канин Камень. По степени метаморфизма их минеральный парагенезис отвечает ставролит-альмандиновой субфации амфиболитовой фации [8]. В отношении возраста свиты нет единого мнения. Ю. П. Ермоленко [9] полагает, что чёшская свита представляет приподнятый блок карельского фундамента. Но маловероятно, чтобы небольшой блок «проткнул» многокилометровую толщу рифейских осадков. Поэтому эти образования относят к нижнему рифею и считают возрастными аналогами микулкинской серии хр. Канин Камень.

В составе барминской серии снизу вверх выделены румяничная, малочернорецкая и ямбозерская свиты. Румяничная свита обнажена по побережью Чёшской губы от устья р. Румяничной до мыса Б. Румяничный и представлена биотит-кварцевыми и альмандин-биотит-кварцевыми сланцами. Малочернорецкая свита наиболее полно вскрыта по рекам М. Черная и Черная. В ее составе фиксируются как биотит-кварцевые, так и хлорит-серицит-кварцевые сланцы. Ямбозерская свита обнажена по побережью Чёшской губы юго-западнее мыса Бармин и по побережью Баренцева моря между мысами Бармин и Капитанский и сложена хлорит-серицит-кварцевыми и серицит-кварцевыми сланцами, а также кварцитопесчаниками.

На территории Северного Тимана и хр. Канин Камень обнаруживается наличие области с относительно высокой степенью метаморфических преобразований и с несколькими локальными пространствами, в которых получили развитие метаморфизм амфиболитовой фации и гранитообразование. Эта область пространственно совмещена с полем развития толеитовых базитов. Наметившаяся форма ее проекции на поверхность характеризуется вытянутостью в северо-западной ориентировке, параллельной простиранию Чаркаю-Пылемецкой зоны разломов.

К юго-востоку от Северного Тимана обособляется область относительно слабого метаморфизма (метаморфизм погружения). На Цильменском Камне в породах быстринской серии повсеместно фиксируется серицит-хлоритовый парагенезис. К востоку и северо-востоку от Цильменского Камня в пределах Ижемской зоны, в рифейских отложениях, вскрытых рядом скважин, параметаморфиты представлены сланцами и филлитами кварц-серицит-хлоритовыми и даже их гидрослюдистыми и глинистыми разностями. Примечательно, что эта область совмещена с амагматичным пространством, разделяющим области развития толеитового магматизма.

К юго-востоку от области относительно слабого метаморфизма наблюдается мозаичное размещение метаморфитов разной степени преобразований.

В четласской серии на Четласском Камне снизу вверх выделены светлинская, новобобровская и визингская свиты, представленные кварцитами, кварцитопесчаниками, алевролитами и сланцами в различных соотношениях. Для светлинской, новобобровской и нижней подсвиты визингской свиты зафиксирован серицит-хлорит-биотитовый метаморфогенный парагенезис. Сланцы верхней подсвиты визингской свиты метаморфизованы в услових серицит-хлоритовой субфации, а на удалении, к западу от Центрально-Тиманского разлома, — в условиях метагенеза. Также слабо метаморфизованы распространенные в западной части Четласского Камня перекрывающие их отложения аньюгской свиты, относимой к низам быстринской серии. Таким образом, для осадочных образований четласской серии намечается вертикальная зональность, что выражается в нарастании степени преобразований с глубиной.

На Четласском Камне в терригенных образованиях быстринской серии присутствует как серицит-хлоритовый, так и серицит-хлорит-биотитовый парагенезисы. В юго-восточной части Четласского Камня в такой же степени метаморфизованы и образования, относимые к аньюгской свите, залегающие под карбонатами павьюгской свиты. При этом нет строгого контроля в отношении размещения метаморфитов со стороны Центрально-Тиманского разлома. На юго-востоке Вольско-Вымской гряды быстринские карбонаты и сланцы метаморфизованы в условиях серицит-хлоритовой субфации.

Таким образом, в породах быстринской серии намечается латеральная зональность, выраженная в снижении степени преобразований в северо-западном и юго-восточном направлениях от юго-восточной части Четласского камня.

На Вымском валу породы кислоручейской серии повсеместно преобразованы в условиях серицит-биотитовой субфации зеленосланцевой фации, и, учитывая вертикальную зональность метаморфизма, логично полагать их более древними по отношению к залегающей выше быстринской серии.

Для пород вымской серии характерен серицит-хлоритовый парагенезис. При этом в скв. Ярега-700 вскрыты биотит-хлоритовые сланцы. Многими исследователями полагается, что появление биотита в составе параметаморфитов в этой области обусловлено процессами локального динамометаморфизма [5]. Однако биотит присутствует и в породах относительно слабодислоцированных. Наиболее явственно это видно на Кислоручейской гряде.

К востоку от этой части Среднего Тимана, в Ижемской зоне, по наблюдениям в керне скважин степень метаморфизма рифейских пород варьирует от серицит-хлоритовой субфации зеленых сланцев до амфиболитовой фации.

Переходы между кварц-биотит-хлоритовыми и кварц-серицит-хлоритовыми сланцами осуществляются на расстояниях в несколько километров, и в их размещении не обнаруживается закономерностей и структурного контроля. Региональной петрографической особенностью сланцев в Ижемской зоне и к западу на Среднем Тимане является бластопорфировая структура. Бластопорфировые выделения бывают представлены:

- аллотриаморфными агрегатами хлорита (пеннина), часто в срастании с серицитом, реже с биотитом;
- идиоморфными пакетами биотита;
- идиоморфными псевдоморфозами хлорита по биотиту.

Это свидетельствует о неравномерности теплового и флюидного метаморфизующего потока, что приводило к различным температурным режимам на равных гипсометрических уровнях.

Неравномерность потока обнаруживается и на региональном уровне. В восточной части данной области выявлены крупные массивы двуслюдяных анатектических гранитов, объединенные в нижнеомринский комплекс двуслюдяных гранитов [3, 4]. Эти массивы фиксируются в физических полях как гравитационные минимумы и отрицательные магнитные аномалии. Скважинами вскрыты массивы Нижнеомринский (скв. 1-Южный Джьер, 1-Западная Покча, 1-Нижняя Омра) и Прилукский (скв. 1-Прилукская, 11- и 12-Средняя Мылва). В их обрамлении вскрыты кристаллические и гнейсовидные сланцы амфиболитовой фации и ортоамфиболиты (скв. 1-Прилукская, 12-Средняя Мылва, 12-Верхняя Чуть). По петрогенетическим признакам, зафиксированным в их составе, образования нижнеомринского и североканинского комплексов двуслюдяных гранитов, а также микулкинского комплекса гранитных пегматитов относятся к мезоабиссальной — абиссальной фации [4, 12].

Таким образом, обособляется еще одна область относительно высоких метаморфических преобразований, которая совмещена с полем развития толеитовых магматитов. В очертаниях этой области и расположенной севернее области низкотемпературных преобразований отчетливо обрисовывается субмеридиональная (современная) ориентировка, параллельная Илыч-Чикшинской зоне разломов (рис. 1).

На юго-восток от этой области на Тимане отчетливо проявляется снижение степени региональных метаморфических преобразований рифейских осадочных пород и отсутствие проявлений толеитового магматизма. На Очпарме метаморфизм пород ропчинской карбонатно-терригенной и вышележащей очпармской терригенной свит не превышает серицит-хлоритовой субфации. На Джеджимпарме верхнепротерозойские образования не несут признаков динамотермального метаморфизма.

Протерозойские образования, распространенные вблизи Западно-Тиманского разлома и вскрытые скважинами 1-Синдор, 1-Весляна, 183-, 184-Нившера, 1-Большие Пороги, практически не метаморфизованы.

Следовательно, поля распространения толеитовых базитов и области относительно высокотемпературного метаморфизма обрисовывают пути подъема двух различных и пространственно обособленных тепловых и флюидных потоков и пространств («Северное» и «Южное»), в которых реализовывалась их деятельность. Внутри обоих пространств интенсивность (плотность) метаморфизующих потоков варьировала, создавая несколько зон преобразований в амфиболитовой фации и анатектического гранитообразования. Экстенсивность потоков по достижении максимума постепенно снижалась, о чем свидетельствует отчетливое проявление процессов диафтореза в обоих пространствах.

Разноочаговый габбро-сиенит-гранитовый магматизм и сопряженный с ним щелочной флюидный поток

В последующем эндогенные процессы локализуются в этих же пространствах. Здесь формируются небольшие по объемам комплексы магматитов, сопровождаемых флюидно-магматическими и гидротермально-метасоматическими образованиями. Сценарии развития этих процессов сходны, но не одинаковы.

В «Северном» пространстве на Северном Тимане выявлен весьма пестрый по составу северотиманский габбро-сиенит-гранитовый комплекс. Он представлен оливин-керсутитовыми субщелочными габбро в районе устья р. Румяничная; субщелочными, щелочными и нефелиновыми сиенитами, сиенит-мигматитами, сиенит-пегматитами, альбититами и фенитами массива мыса Большого Румяничного, субщелочными сиенитами массивов Крайний Камешек и Малый Камешек, лейкократовыми биотитовыми гранитами и граносиенитами массивов Большой Камешек и Сопки Каменные.

Объединение в едином магматическом комплексе этих разнообразных горных пород было произведено на основании их тесной пространственной локализации, а также близости времени формирования. Это подтверждается данными U-Pb-датирования цирконов, «плотно уложенными» в интервал 614—600 млн лет [1, 21, 22]. По геологическим данным, субщелочные габбро были отчетливо более ранними по отношению к сиенитам и гранитам, а сиениты — более ранними по отношению к гранитам. По М. Н. Костюхину [12], перечисленные породы являются продуктами кристаллизации магм разных уровней магмогенерации, т. е. разноочаговыми. Это объяснимо подъемом плюма, вызывающего последовательно плавление субстрата, начиная с мантии вверх по разрезу в земной коре. Плюм сопровождался флюидным потоком, который способствовал магмогенерации, но также был и самостоятельным агентом породообразования в земной коре. В массиве мыса Большого Румяничного это выразилось в оформлении полей сиенит-мигматитов и фенитов. В массиве Большой Камешек участие флюида в реакционном взаимодействии гранитного расплава с толеитовыми базитами привело к формированию ряда пород, состав которых изменялся по мере удаления от контакта от кварцевых сиенитов до собственно гранитов.

На хр. Канин Камень фрагментарно обнажен массив двуслюдяных гранитов и монцонитов в устье р. Б. Пидерцелха, относящийся к североканинскому комплексу — формационному аналогу северотиманского комплекса [12]. Однако этот комплекс являлся продуктом самостоятельного плюма, а возможно и двух. На это указывают результаты U-Pb-датирования цирконов из гранитов — 883 ± 16 млн лет, монцогаббро — 505 ± 7 млн лет и лампрофиров — 504 ± 7 млн лет [2].

В «Южном» пространстве формационным аналогом северотиманского комплекса полагаются лейкократовые биотитовые граниты, вскрытые скв. 12-Верхняя Чуть, кварцевые сиениты скв. 1-Изкось-Гора и монцониты скв. 4-Изкось-Гора [10]. Имеется свидетельство об участии субщелочных габбро, аналогичных северотиманским. На Среднем Тимане в толще девонских туфов обнаружен крупный ксенолит этих пород [13].

Щелочной базитовый и ультрамафитовый магматизм и сопряженный с ними щелочной флюидный поток

Завершаются эндогенные процессы на территории «Северного» пространства внедрением щелочно-базитовой магмы. Оно происходит строго в зонах глубинных разломов северо-восточного (современного) простирания. На хр. Канин Камень это дайки лампрофиров, секущие двуслюдяные граниты североканинского комплекса [10]. На Северном Тимане это дайки камптонитов, прорывающие массивы мыса Большого Румяничного и Малый Камешек [15].

Формирование четласского комплекса щелочных пикритов, метасоматических карбонатитов и фенитов завершает в «Южном» пространстве цикл эндогенных процессов. Дайки, реже штоки щелочных пикритов локализованы в зонах глубинных разломов северо-восточного (современного) простирания.

Зоны метасоматоза были как совмещенными с телами щелочных пикритов, так и самостоятельными. В их внутренних частях формировались тела метасоматических доломитовых, доломит-анкеритовых и сидеритовых карбонатитов. Внешние части зон представлены щелочными метасоматитами, состав которых зависит от вмещающих пород. В телах щелочных пикритов это флогопитовые слюдиты. В осадочно-метаморфических породах это фениты, состоящие из эгирина, амфиболов ряда рибекит-арфведсонит, калиевого полевого шпата и альбита. Процесс становления комплекса завершается формированием гидротермальных образований: гетит-полевошпатовых на этапе перехода от транскритического пара в гидротер-

мальный раствор, затем кварц-гетит-гематитовых собственно гидротермального этапа [12]. Гидротермально-метасоматические образования несут редкометалльно-редкоземельное оруденение, наиболее полное его минералогическое описание дано в работе [11]. Вся гамма метасоматических пород закономерно формировалась вследствие кислотно-щелочного взаимодействия флюида с вмещающими породами. При этом происходила и дифференциация редкоземельных элементов: «легкие» (Ce, La) формировали свои минералы в карбонатитах, а Y в форме ксенотима концентрировался в поздних альбит-эгириновых фенитах, даже пространственно удаленных от мест формирования карбонатитов [17]. Однако щелочной метасоматоз имел в отличие от магматизма и более широкое площадное распространение. Фениты эгирин-альбитового состава выявлены в терригенно-карбонатных породах ворыквинской свиты под бокситами Верхнещугорского месторождения [20]. А калиевые и ториевые аномалии выявлены геофизической съемкой в юго-восточной части Четласского Камня вне зон разломов северо-восточного простирания.

Трансформные зоны разломов северо-восточного простирания, в которых локализованы дайки лампрофиров на хр. Канин Камень, камптонитов на Северном Тимане и щелочных пикритов на Среднем Тимане, имеют общие характерные особенности. Тела магматитов в них не дислоцированы, что свидетельствует об отсутствии разнонаправленных движений по ним и во время магматизма, и в последующие времена. При внедрении магмы в дайках реализовалась дифференциация в потоке с аккумуляцией фенокристаллов в осевых частях тел [12, 15], что указывает на внедрение в открытые или открывающиеся в условиях растяжения трещины. Об этом же говорит и тот факт, что в зальбандах даек на Среднем Тимане наблюдаются шлейфы ксенолитов вмещающих пород, параллельные контактам, с незначительным перемещением ксенолитов от их первичного положения в раме.

По-видимому, данные зоны возникали на фоне общего подъема территории, который не был существенно дифференцирован по скоростям в разных частях региона. При этом на поверхности эрозионного среза не происходило крупномасштабных горообразующих процессов.

Выводы

Изложенные фактические данные позволяют предположить следующую генетическую модель.

Под территорией современного КТПР (Тиманского мегаблока) в позднем протерозое поднимались два автономных вещественных (флюидных) тепловых потока. На их пути оформлялись пространства («Северное» и «Южное»), в которых получали развитие эндогенные процессы:

• метасоматические преобразования пород мантии на уровне графит-пироповой фации глубинности, фиксирующиеся явлениями флогопитизации эклогитов;

• плавление мантийного субстрата с формированием и быстрым подъемом толеитовой магмы;

• региональный метаморфизм позднепротерозойских образований в интервале P-T-условий от зеленосланцевой до амфиболитовой фаций;

• анатектическое плавление позднепротерозойских пород в зонах амфиболитовой фации с формированием гранитных пегматитов и двуслюдяных гранитов;

• плавление нижнекорового субстрата с формированием самостоятельных монцонитовых, сиенитовых и «сухих» гранитных расплавов, способных к подъему на гипабиссальный уровень;

• флюидно-магматические процессы с формированием сиенит-мигматитов и нефелиновых сиенитов при реакциях сиенитовых магм с базитами;

• внерение по глубинным разломам северо-восточного простирания щелочно-базитовой магмы и формирование лампрофиров и щелочных пикритов;

• метасоматические процессы с формированием щелочных метасоматитов (фенитов) и метасоматических доломит-анкерит-сидеритовых карбонатитов;

• разнообразные гидротермальные процессы.

Флюидно-тепловой поток однозначно был неоднороден по своим параметрам в пространстве, что зафиксировано в мозаичности размещения метаморфитов разных фаций. Но, видимо, он был неоднороден и во времени. Наблюдаемые сценарии развития эндогенных процессов в «Северном» и «Южном» пространствах были сходны, но не одинаковы. Поэтому не следует предполагать одинаковый возраст для формационно-однотипных породных комплексов.

Замечено, что длинные оси очертаний проекции потоков на земную поверхность субпараллельны для «Северного» пространства Чаркаю-Пылемецкой, а для «Южного» — Ильич-Чикшинской зонам разломов (рис. 1). Это позволяет полагать, что «Северное» и «Южное» пространства могли быть лишь «западными» (в современном положении) фрагментами более обширных потоков, вызвавших расколы карельского основания с формированием зон рифтогенеза, спрединга и последующих субдукций с оформлением островных дуг [4, 5].

Наличие двух автономных флюидно-магматических потоков на территории современного КТПР позволяет допускать наличие подобных им потоков и к востоку от Чаркаю-Пылемецкой и Ильич-Чикшинской зон. Их действие и могло привести к возникновению нескольких микроконтинентов, разделенных зонами спрединга и субдукции на обширной территории современного Европейского Северо-Востока.

Литература

1. *Андреичев В. Л., Соболева А. А., Удоратина О. В., Ронкин Ю. Л.* Цирконология сиенитов Северного Тимана // Вестник геонаук. 2021. № 6 (318). С. 16—27.

2. *Андреичев В. Л., Соболева А. А., Сергеев С. А., Пресняков С. Л.* Цирконовая хронология интрузивного магматизма полуострова Канин // Изв. вузов. Геология и разведка. 2018. № 4. С. 30—38.

3. *Белякова Л. Т., Степаненко В. И.* Гранитоиды фундамента Печорской синеклизы как индикаторы тектоно-магматической зональности // Докл. АН СССР. 1990. Т. 313. № 3. С. 677—681.

4. *Белякова Л. Т., Степаненко В. И.* Магматизм и геодинамика байкалид фундамента Печорской синеклизы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 12. С. 106—117.

5. *Белякова Л. Т., Богацкий В. И., Богданов Б. П., Довжикова Е. Г., Ласкин В. М.* Фундамент Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна. Ухта: ГУП РК ТП НИЦ, 2008. 288 с.

6. *Гецен В. Г, Андреичев В. Л., Степаненко В. И.* Эволюция метаморфизма верхнепротерозойского комплекса Тимана по геолого-геохронологическим данным // Докл. АН СССР. 1985. Т. 285. № 6. С. 1424—1428.

7. *Данилов М. А., Ермоленко Ю. П., Скрипниченко В. А.* Первые проявления сульфидных медно-никелевых руд на Северном Тиман // Докл. АН СССР. 1977. Т. 232. № 2. С. 413—416.

8. *Данилов М. А., Соболев В. К., Скрипниченко В. А., Ефимов И. В., Горяшин В. И., Ермоленко Ю. П.* Первая находка гранат-ставролитовых сланцев на Северном Тимане // Докл. АН СССР. 1979. Т. 244. № 1. С. 189—193.

9. *Ермоленко Ю. П.* Медно-никелевое оруденение северо-западного Тимана // Разведка и охрана недр. 1979. №10. С. 19—21.

10. *Ивенсен Ю. П.* Магматизм Тимана и полуострова Канин. М.; Л.: Наука, 1964. 126 с.

11. *Ковальчук Н. С., Шумилова Т. Г., Степаненко В. И.* Редкоземельная минерализация в карбонатитах Косьюского массива (Средний Тиман) // Записки Российского минералогического общества. 2013. Т. 142. С. 109—132.

12. *Костюхин М. Н., Степаненко В. И.* Байкальский магматизм Канино-Тиманского региона. Л.: Наука, 1987. 232 с.

13. *Куликова К. В., Шмакова А. М., Бурцев И. Н.* Магматические породы Гэрдвожского участка (Средний Тиман) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 339—342.

14. *Лобковский Л. И., Никишин А. М., Хаин В. Е.* Современные проблемы геотектоники и геодинамики. М.: Научный мир, 2004. 612 с.

15. *Мальков Б. А.* Петрология дайковой серии щелочных габброидов Северного Тимана. Л.: Наука, 1972. 128 с.

16. *Степаненко В. И.* Состав и возраст флогопитсодержащего эклогита из трубки взрыва на Среднем Тимане // Рудообразование и магматизм на Севере Урала и Тимана. Сыктывкар: Ин-т геологии Коми фил. АН СССР, 1983. С. 59—62. (Труды Института геологии Коми филиала АН СССР. Вып. 41).

17. *Степаненко В. И.* Две тенденции распределения РЗЭ в четласском карбонатитовом комплексе Среднего Тимана // Доклады АН СССР. 1990. Т. 313. № 4. С. 966—969.

18. *Степаненко В. И.* Позднепротерозойский магматизм северо-восточной окраины Восточно-Европейской платформы как плюм-события // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты: Материалы XLVII Тектонического совещания. Том 2. М.: ГЕОС, 2015. С. 188—191.

19. *Степаненко В. И., Капитанова В. А.* Медно-никелевое сульфидное рудообразование на Северном Тимане // Петрология и минералогия севера Урала и Тимана. Сыктывкар: Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН, 2003. С. 125—142. (Тр. Ин-та геологии Коми науч. центра УрО Российской АН. Вып. 113).

20. *Степаненко В. И., Лихачев В. В., Швецова И. В.* Щелочной метасоматоз и ниобиевая минерализация в рифейских терригенно-карбонатных образованиях Среднего Тимана // Эндогенные комплексы Европейского Северо-Востока СССР. Сыктывкар: Ин-т геологии Коми НЦ УрО РАН, 1988. С. 33—46. (Труды Ин-та геологии Коми НЦ УрО АН СССР. Вып. 65).

21. *Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L., Coble M. A., Miller E.L.* Granites of the Northern Timan — probable indicators of Neoproterozoic stages of Rodinia breakup // Geodynamics & Tectonophysics. 2020. V. 11. Issue 2. P. 10—28.

22. *Larionov A. N., Andreichev V. L., Gee D. G.* The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite // The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Eds. Gee D. G., Pease V. Geol. Soc. London. Mem. 2004. № 30. P. 69—74.

References

1. Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L. *Tsirkonologiya sienitov Severnogo Timana* (Zirconology of syenites of the Northern Timan). Vestnik of Geosciences, 2021, No. 6 (318), pp. 16—27.

2. Andreichev V. L., Soboleva A. A., Sergeev S. A., Presnyakov S. L. *Tsirkonovaya khronologiya intruzivnogo magmatizma poluostrova Kanin* (The zircon chronology of the intrusive magmatism of the Kanin Peninsula). Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration, 2018, No. 4, pp. 30—38.

3. Belyakova L. T., Stepanenko V. I. *Granitoidy fundamenta Pechorskoj sineklizy kak indikatory tektono-magmaticheskoj zonal'nosti* (Granitoids of the basement of the Pechora syneclise as indicators of tectonic-magmatic zoning). Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 1990, V. 313, No. 3, pp. 677—681.

4. Belyakova L. T., Stepanenko V. I. *Magmatizm i geodinamika bajkalid fundamenta Pechorskoj sineklizy* (Magmatism and geodynamics of the Baikalide basement of the Pechora syneclise). Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Geological series, 1991, No. 12, pp. 106—117.

5. Belyakova L. T., Bogatskij V. I., Bogdanov B. P., Dovzhikova E. G., Laskin V. M. *Fundament Timano-Pechorskogo neftegazonosnogo bassejna* (The basement of the Timan-Pechora oil and gas basin). Uhta: SUE RK TP SIC, 2008, 288 p.

6. Getsen V. G, Andreichev V. L., Stepanenko V. I. Evolyuciya metamorfizma verhneproterozojskogo kompleksa Timana po geologo-geohronologicheskim dannym (Evolution of metamorphism of the Upper Proterozoic Timan Complex according to geological and geochronological Data). Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 1985, V. 285, No. 6, pp. 1424—1428.

7. Danilov M. A., Ermolenko Yu. P., Skripnichenko V. A. *Pervye proyavleniya sul'fidnyh medno-nikelevyh rud na Severnom Timan* (The first occurrences of sulphide copper-nickel ores in the Northern Timan). Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 1977, V. 232, No. 2, pp. 413—416.

8. Danilov M. A., Sobolev V. K., Skripnichenko V. A. Efimov I. V., Goryashin V. I., Ermolenko Yu. P. *Pervaya nahodka granat-stavrolitovyh slancev na Severnom Timane* (The first find of garnet-staurolite schists in the Northern Timan). Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 1979, V. 244, No. 1, pp. 189—193.

9. Ermolenko Yu. P. *Medno-nikelevoe orudenenie severo-zapadnogo Timana* (Copper-nickel mineralization of the northwestern Timan). Razvedka i okhrana nedr, 1979, No. 10, pp. 19—21.

10. Ivensen Yu. P. *Magmatizm Timana i poluostrova Kanin* (Magmatism of Timan and the Kanin Peninsula), Moscow-Leningrad: Nauka, 1964, 126 p.

11. Koval'chuk N. S., Shumilova T. G., Stepanenko V. I. *Redkozemel'naya mineralizaciya v karbonatitah Kos'yuskogo massiva (Srednij Timan)* (Rare-earth mineralization in carbonatites of the Kosyu massif (Middle Timan)). Proceedings of the Russian Mineralogical Society, 2013, V. 142, pp. 109—132.

12. Kostyuhin M. N., Stepanenko V. I. *Bajkal'skij magmatizm Kanino-Timanskogo regiona* (Baikalian magmatism of the Kanin-Timan region). Leningrad: Nauka, 1987, 232 p.

13. Kulikova K. V., Shmakova A. M., Burtsev I. N. *Magmaticheskie porody Gerdvozhskogo uchastka (Srednij Timan)* (Igneous rocks of the Gerdvozh area (Middle Timan)). Proceedings of the Fersman Scientific Session of the GI KSC RAS, 2019, No. 16, pp. 339—342.

14. Lobkovskij L. I., Nikishin A. M., Hain V. E. *Sovremennye problemy geotektoniki i geodinamiki* (Modern problems of geotectonics and geodynamics). Moscow: Nauchnyj mir, 2004, 612 p.

15. Mal'kov B. A. *Petrologiya dajkovoj serii shchelochnyh gabbroidov Severnogo Timana* (Petrology of the dike series of alkaline gabbroids of the Northern Timan). Leningrad: Nauka, 1972, 128 p.

16. Stepanenko V. I. *Sostav i vozrast flogopitsoderzhashchego eklogita iz trubki vzryva na Sredne Timane* (Composition and age of phlogopite-bearing eclogite from an explosion pipe in the Middle Timan. *Rudoobrazovanie i magmatizm na Severe Urala i Timana* (Ore formation and magmatism in the North of the Urals and Timan). Syktyvkar: Institute of Geology, Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1983, pp. 59—62. (Proceedings of the Institute of Geology, Komi Branch of the Academy of Sciences of the USSR. Issue. 41).

17. Stepanenko V. I. *Dve tendencii raspredeleniya RZE v chetlasskom karbonatitovom komplekse Srednego Timana* (Two trends in the distribution of REE in the Chetlas carbonatite complex of the Middle Timan). Reports of the Academy of Sciences of the USSR, 1990, V. 313, No. 4, pp. 966—969.

18. Stepanenko V. I. *Pozdneproterozojskij magmatizm severo-vostochnoj okrainy Vostochno-Evropejskoj platformy kak plyum-sobytiya* (Late Proterozoic magmatism of the northeastern margin of the East European Platform as plume events). *Tektonika i geodinamika kontinental'noj i okeanicheskoj litosfery: obshchie i regional'nye aspekty* (Tectonics and geodynamics of the continental and oceanic lithosphere: general and regional aspects). Materials of the XLVII Tectonic Conference, V. 2, Moscow: GEOS, 2015, pp. 188—191.

19. Stepanenko V. I., Kapitanova V. A. *Medno-nikelevoe sul'fidnoe rudoobrazovanie na Severnom Timane* (Copper-nickel sulfide ore formation in the Northern Timan). *Petrologiya i mineralogiya severa Urala i Timana* (Petrology and Mineralogy of the North of the Urals and Timan). Syktyvkar: Institute of Geology, Komi SC UB RAS, 2003, pp. 125—142 (Proceedings of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. Issue. 113).

20. Stepanenko V. I., Lihachev V. V., Shvetsova I. V. *Shchelochnoj metasomatoz i niobievaya mineralizaciya v rifejskih terrigenno-karbonatnyh obrazovaniyah Srednego Timana* (Alkaline metasomatism and niobium mineralization in the Riphean terrigenous-carbonate formations of the Middle Timan). *Endogennye kompleksy Evropejskogo Severo-Vostoka SSSR*. (Endogenous complexes of the European North-East of the USSR). Syktyvkar: Institute of Geology, Komi SC UB RAS, 1988, pp. 33—46. (Proceedings of the Institute of Geology, Komi SC UB USSR Academy of Sciences. Issue 65).

21. Andreichev V. L., Soboleva A. A., Udoratina O. V., Ronkin Yu. L., Coble M. A., Miller E. L. Granites of the Northern Timan — probable indicators of Neoproterozoic stages of Rodinia breakup. Geodynamics & Tectonophysics. 2020, V. 11, 2, pp. 10—28.

22. Larionov A. N., Andreichev V. L., Gee D. G. The Vendian alkaline igneous suite of northern Timan: ion microprobe U-Pb zircon ages of gabbros and syenite. The Neoproterozoic Timanide Orogen of Eastern Baltica. Eds. Gee D.G., Pease V. Geol. Soc. London. Mem., 2004, No. 30, pp. 69—74.

Received / Поступила в редакцию 22.02.2022

УДК 549(929) DOI: 10.19110/geov.2022.3.3

«Незрелый янтарь» — кранцит — на Среднем Урале

О. В. Мартиросян

Геологический институт РАН, Москва
mov@ginras.ru

Статья посвящена анализу свидетельств о находке «янтаря» близ с. Колчедан на Среднем Урале. Данная смола не является янтарем-сукцинитом, а представляет собой редкую разновидность ископаемых смол — кранцит. Показано, что первые письменные указания о смоле со свойствами кранцита были много раньше, чем он был выделен как самостоятельный вид. Дана краткая характеристика и оценка его изученности. Отмечено, что «колчеданский янтарь» представляет богатый и интересный материал, который еще ожидает научной обработки.

Ключевые слова: *ископаемые смолы, кранцит, Средний Урал.*

"Immature amber" — krantzite — in the Middle Urals

O. V. Martirosyan

Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

The article is devoted to the analysis of the evidence of finding "amber" near the village of Kolchedan in the Middle Urals. This resin is not amber-succinite, but a rare type of fossil resin — krantzite. It is shown that the first written references to resin with properties of krantzite were much earlier than it was singled out as an independent species. A brief characteristic and assessment of its study is given. It is noted that "Kolchedan amber" is a rich and interesting material, which still awaits scientific processing.

Keywords: *fossil resin, krantzite, Middle Ur*als.

Введение

На восточном склоне Среднего Урала издавна встречаются ископаемые смолы, которые ранее авторами принимались за настоящий янтарь (в современном понимании — сукцинит) [7]. Одним из таких объектов является смола, найденная близ с. Колчедан (Свердловская обл., Россия) и в научной литературе часто именуемая как «колчеданский янтарь». Поселение Колчедан, находящееся в 18 км от Каменского завода на р. Исети, возникло в 1673 г. как Колчеданский острог (рис. 1). Самыми первыми на Урале были преимущественно ученые-путешественники, географы, ботаники, обычно посещающие Средний Урал на пути следования в Сибирь. В августе 1770 г. академик П.-С. Паллас (P. S. Pallas), возвращавшийся из путешествия по Сибири через село Колчедан, отметил в отчете темно-серую глину, перемешанную с кусками дерева, «которое почти в уголь превратилось и серным богатым колчеданом проросло» [21, с. 359]. Месяцем ранее по этой территории проезжал другой ученый-путешественник — академик И. И. Лепехин. В. И. Геннин впервые привел географическое описание Колчеданской слободы [1]. К сожалению, никто из них не сообщил о находках ископаемой смолы. Историю изучения «колчеданского янтаря» можно начать с конца XVIII в. В 1798 г. академик И. Г. Георги привел первые сведения о присутствии «янтаря» близ Колчеданской слободы [15].

Цель статьи — проанализировать свидетельства о колчеданском янтаре, кратко охарактеризовать, дать оценку его изученности и возможности практического применения.

Результаты и обсуждение

Первые исследования по «янтарю» на Среднем Урале. 22 августа 1802 г. горный инженер И. Ф. Герман (B. Herrmann) доставил куски смолы в Санкт-Петербург академику Т. Е. Ловицу (J. T. Lowitz), который 19 сентября 1802 г. доложил на заседании Императорской академии наук и художеств в Санкт-Петербурге результаты исследования смолистого вещества. Опираясь только на то, что при нагревании оно сильно набухает, плавится с разложением и обладает свойством притягивать легкие тела после трения, он сделал вывод, что, без сомнения, это настоящий желтый янтарь [20].

Спустя более 30 лет Н. Р. Мамышев (1777—1840), прочитав заметку об открытии янтаря в Виленской губернии, вспомнил о находке «янтаря» в 1802 г. близ селения Колчедан на левом берегу р. Исеть, в то время когда он был управляющим Каменским заводом и опубликовал эти сведения. Он писал, что при раскапывании площади бывшего поселения «находили истлевшие деревянные обломки, поленья, щепы и пр. бурого цвета, унизанные кубиками серного колчедана, и еще на них и около них кусочки янтаря» [6, с. 181].

В 1834 г. председателем ученого комитета Корпуса горных инженеров Е. В. Карнеевым было дано поручение начальству екатеринбургских заводов собрать подробные сведения о месторождении «янтаря» [6]. На тот момент управляющим Каменского чугуноплавительного завода был горный инженер И. А. Барощи де Эльс (Barozzi de Elsa), который опубликовал на немецком языке заметку о местонахождении «янтаря» близ

Для цитирования: Мартиросян О. В. «Незрелый янтарь» — кранцит— на Среднем Урале // Вестник геонаук. 2022. 3 (327). С. 25—30. DOI: 10.19110/geov.2022.3.3.

For citation: Martirosyan O. V. "Immature amber" — krantzite — in the Middle Urals. Vestnik of Geosciences, 2022, 3 (327), pp. 25—30, doi: 10.19110/geov.2022.3.3.

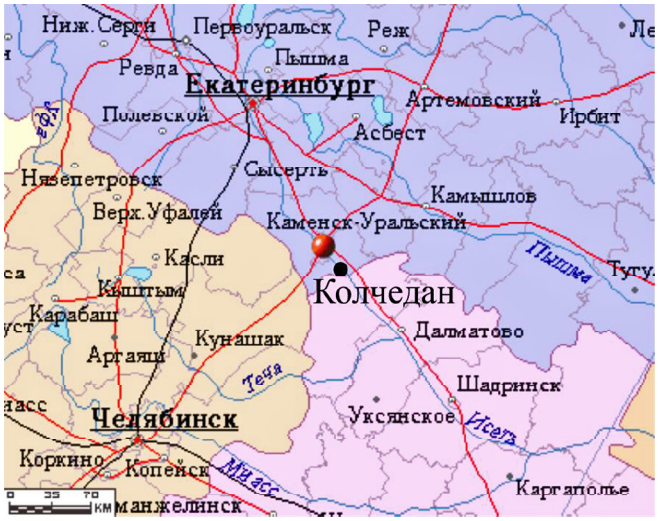


Рис. 1. Географическое положение находки «колчеданского янтаря»

Fig. 1. The geographical location of the "Kolchedan amber"

Каменского завода [13]. Более полная информация содержится в его рапорте, приведенном Н. Р. Мамышевым [6], где он детально описал берега р. Исеть и подробно изложил такие сведения о «янтаре», как цвет, поведение при нагревании, и, что самое важное, отметил его эластичность. В пласте «серой вязкой глины, перемешанной с разрушенным бурым углем», были обнаружены «небольшие куски янтаря. Ниже сего пласта следует малоразрушенный лигнит <…> В сем лигните янтарь попадается в большем количестве и куски его крупнее» [6, с. 184]. Далее следовало подробное описание находки: «Найденный здесь янтарь по вынутии на дневную поверхность не имеет той твердости, какую получает впоследствии, полежав на воздухе; только лишь вынутый из недр земли имеет запах древесной и в особенности сосновой смолы, который впоследствии теряет. Некоторые куски его обладают вязкостью, напротив же, другие, подобно резиниту, вовсе не имеют оной. Излом раковистый; янтарь сей на огне горит, при горении плавится, но не каплет, и во время сгорания, издавая ароматический запах, сильно коптит, оставляя по сгорании разрушенную массу угля. Цветов встречается различных: восковаго медоваго, желто- и красно-бураго и желто-белаго; блеск его масляный. Встречается кругляками, зернами, тупоугольными массами с неровной поверхностью, а также в виде капельников. Некоторые куски плавают, а другие в воде тонут» [6, с. 185—186].

Это была вся информация к тому времени. На момент находки «колчеданского янтаря» в научной литературе отсутствовала информация о четких диагностических признаках, которые позволили бы отличать янтарь от других, внешне похожих на него смол. Эти описания появились во второй половине XIX в. Недостаточное развитие химических методов исследования ископаемых смол вплоть до начала XIX в. было причиной того, что в течение многих столетий единственным методом анализа янтаря было изучение продуктов его сухой перегонки (янтарной кислоты и янтарного масла). Это не давало достаточной информации о составе и химическом строении вещества. Таким образом, очень долгое время смолу, найденную при Каменском заводе, принимали за настоящий янтарь-сукцинит [2, 5, 11].

Исследования середины XIX — конца XX в. В 1859 г. К. В. Бергеманом (C.W. Bergemann) была описана вторая находка смолы с подобными свойствами из местечка Латторф (Верхняя Саксония, Германия). Он тщательно описал цвет, размеры и формы кусочков исследуемой смолы, привел данные по удельному весу, элементному анализу, поведению при нагревании и отношению к растворителям. Автор считал, что данная смола не была описана ранее, и выделил ее как самостоятельный вид. Основанием к этому послужили полученные им данные, а также свойство эластичности: «свежевыкопанные куски несколько мягкие, на воздухе они отвердевают» [14, с. 65]. К. В. Бергеманн предложил назвать его «кранцит», в честь немецкого торговца минералами А. А. Кранца (A. A. Kranz), передавшего ему куски смолы для исследования.

Третья находка датируется 1870 г. Кусочки кранцита были обнаружены совместно с сукцинитом на Остзейском побережье близ маяка Брюстерорт (ныне Калининградская область, Россия) [22].

Более века спустя после первой попытки Л. Е. Ловица идентифицировать «колчеданский янтарь» Н. А. Орлов и В. А. Успенский провели ревизию более 30 видов ископаемых смол при попытке создания их классификации. На основе полученных уникальных данных в 1936 г. была опубликована первая и до сих пор единственная сводка по ископаемым смолам всего мира с указанием их физических и химических свойств, возраста, места и времени первых находок [9]. С выходом ее в свет геологи, минералоги, палеонтологи обрели не только руководство для своих исследований, актуальное до сих пор, но и уникальный путеводитель в мир науки о янтаре. В монографии приведена информация и о «колчеданском янтаре». Он был проанализирован в 1935 г. в лаборатории ВНИГИ им. А. П. Карпинского по образцам из Горного музея при Ленинградском горном институте. Определены удельный вес и элементный состав, исследованы термические свойства, растворимость в различных растворителях (табл. 1.). В результате установлено, что эти образцы представляют собой кранцит [9]. Кранцит относится к своеобразной группе ископаемых смол, которые, имея высокую степень преобразования, показывают свойства, говорящие о «незрелости» смол. К таким свойствам относят мягкость и эластичность, особенно заметные при свежем состоянии образцов. На воздухе такие смолы быстро отвердевают, именно на это первым обратил внимание И. А. Бароцци де Эльс. Кроме того, мягкий, эластичный кранцит при нагревании около 100 °С становится хрупким, поэтому он относится к группе хрупких смол. По составу кранцит почти идентичен сукциниту, но при этом азот и янтарную кислоту не содержит.

Более века не было информации о находках смол со свойствами, характерными для кранцита. В 1980-х и 1990-х гг. во время разработки эоценового бурого угля многочисленные скопления кранцита были обнаружены в местечках Ной-Кёнигзауэ, Профена, Мюхельн, Нитлебен и лигнитовых карьерах Хельмштедта (Верхняя и Нижняя Саксония, Германия). В отличие от других находок кранцита, уникальность этих образцов состоит в том, что они имеют повышенное (4.13—5.91 %) со-

Таблица 1. Сравнение состава и физических свойств кранцита из различных местонахождений

Table 1. Comparison of the composition and physical properties of krantzite from different locations

Местонахождение кранцита / ссылка Location of krantzite / reference	Год находки Year of find	Цвет Color	Элементный анализ, % Elemental conposition, %				Удельный вес Specific weight	Поведение при нагревании Behavior when heated
			C	H	O	S		
с. Колчедан, р. Исеть (СреднийУрал) Kolchedan Vil., Iset Riv. (Middle Urals) [9]	1798	медово-восковый желтый до красно-бурого honey-wax, yellow to red-brown	77.16	9.57	13.27	нет	Около 1 About 1	Начинает размягчаться при 130—140 °С, около 310—320 °С становится жидким Begins to soften at 130—140°C, becomes liquid at about 310—320°C
Латторф (Саксония-Анхальт, Германия) Lattorf (Saxony-Anhalt, Germany) [14, 17, 19]	1859	светло-желтый, зеленоватый, местами буроватый light yellow, greenish, sometimes brownish	65.3—65.8	8.08—8.25	10.58	5.26—5.35	0.968	Начинает размягчаться около 225 °С. Около 270—300 °С становится жидким и разлагается Begins to soften at about 225°C. About 270—300 °C becomes liquid and decomposes
Остзейское побережье близ Брюстерорт Ostsee coast near Brewsterort [9, 22]	1871	зеленовато-желтый, светло-медово-желтый greenish yellow, light honey yellow	78.38	10.14	11.48	нет	0.934	При нагревании около 100 °С становится хрупким, плавится выше 300 °С и разлагается When heated to about 100 °C, it becomes brittle, melts above 300 °C and decomposes
Хелмштадт, Германия Helmstadt, Germany [17, 18, 23]	1986	светло-медово-желтый до красно-бурого light honey yellow to reddish brown	80.3	10.4	9.3	4.6	0.988	Температура плавления 225 °С, при 270 °С начинает выделяться белый пар, при 288 °С становится жидким и приобретает коричневый цвет Melting point 225 °C, at 270 °C white vapor begins to evolve, at 288 °C it becomes liquid and brown

держание серы [17]. Изменчивость элементного состава также весьма значительна (таблица). Однако это не является основанием для какой-либо систематики, поскольку исследователи уже давно пришли к выводу, что данные элементного анализа не являются диагностическим критерием [9, 10].

Примечательно, что геологический возраст отложений, где встречался «колчеданский янтарь» [3] и другие представители этого вида [17—19, 23], одинаков и относится к среднему эоцену. Данные смолы приурочены главным образом к осадочным породам. Встречаются, как правило, в пропластках глин, среди песков, совместно с бурым углем, часто с углефицированными остатками ископаемой древесины, у медленно текущих рек. Кроме того, находятся они на одной географической широте. Возможно, это сходство не случайно и представляет интерес для палеогеографии территорий современной Саксонии и Среднего Урала.

Исследования конца XX — начала XXI в. Прогресс в изучении ископаемых смол появился с использованием более совершенных методов исследования, таких как ИК-спектроскопия и хромато-масс-спектрометрия. Они являются наиболее востребованными как для исследования ряда тонких деталей их строения, так и для диагностики этих объектов. Материал по кранциту значительно обогатился различной информацией. При этом данные, полученные с помощью этих методов, относятся только к смолопроявлениям кранцита из Нижней и Верхней Саксонии (Германия).

По данным ИК-спектроскопии установлено, что кранцит (рис. 2) имеет в своей структуре довольно значительное содержание связей CH = CH с цис-конфигурацией при двойной связи (700 $см^{-1}$), замещенные как эфирными группами CH = CH — COOR (полоса при 825 $см^{-1}$), так и метилом в α-положении (750 $см^{-1}$). Соотношение интенсивностей полос поглощения групп C = O карбоксильных и сложноэфирных группировок — как у многих хрупких ископаемых смол (1700 > 1730 $см^{-1}$). При этом соотношение C—O карбоксильных и сложноэфирной групп является характерным для вязких смол (1250 < 1160 $см^{-1}$). Эти группы порой неярко выражены или отсутствуют в других ископаемых смолах [8, 16—19].

Данные хромато-масс-спектрометрии показали, что химическая составляющая кранцита представлена из полимеров бициклических сесквитерпенов кадиненового типа и связанных с ним изомеров [12]. Ботаническое происхождение кранцита еще не установлено. При сравнении ИК-спектров современных хвойных растений и кранцита были сделаны предположения, что его генезис можно связать с вымершими представителями стираксовых (*Styrax argentea*) [16] или представителями хвойных европейского палеогена рода *Doliostrobus taxiformis* [23].

Заключение

Из приведенного обзора следует, что ископаемая смола со свойствами кранцита, найденная близ с. Колчедан (Средний Урал), была обнаружена и описана значительно раньше, чем другие ее представители (табл. 1), но не была выделена как самостоятельный вид из-за отсутствия на момент ее нахождения специальных знаний о разновидностях ископаемых смол, которые появились много позже.

Последние специализированные работы по изучению «колчеданского янтаря» датируются серединой XX в. Это результаты термического анализа, сделанные С. С. Савкевичем [10] и подтвердившие, что «колчеданский янтарь» относится к хрупким смолам (несмотря на первичную эластичность). Однако до сих пор для «колчеданского янтаря» больше никакие аналитические данные не приведены.

Кранцит из п. Колчедан (Средний Урал), как и другие находки кранцита, очень ценен с научной точки

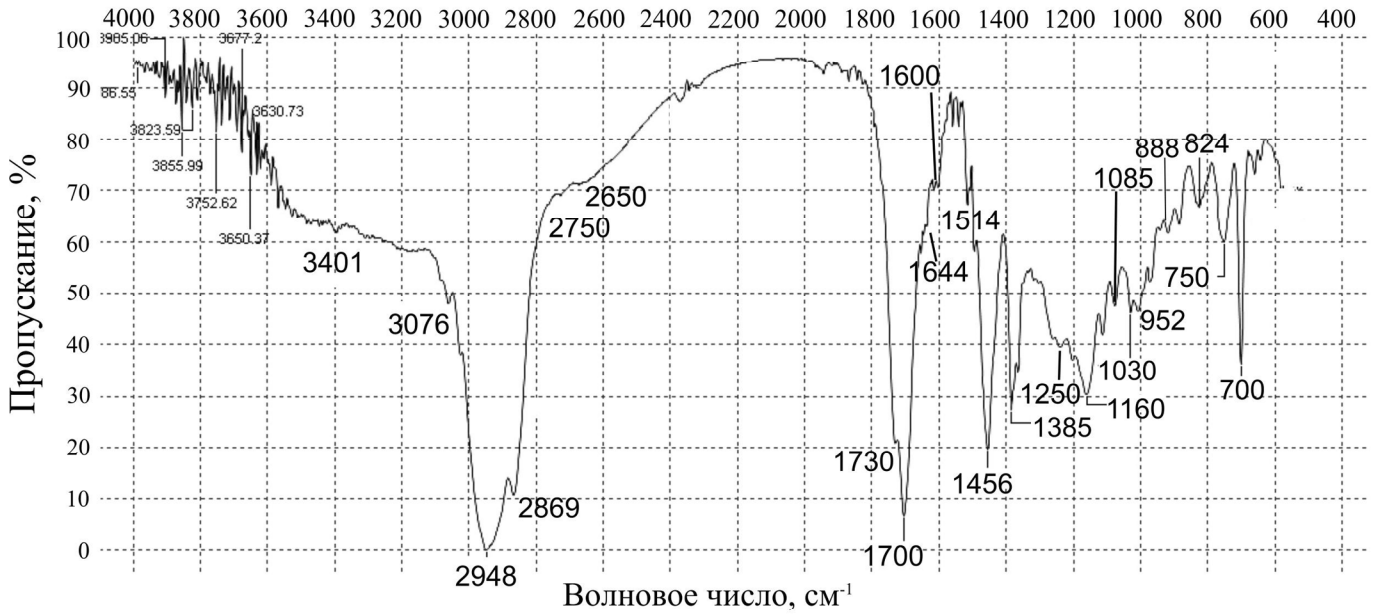


Рис. 2. ИК-спектр кранцита. Образец Б. Космовской-Церанович из Музея Земли в Варшаве

Fig. 2. IR spectrum of krantzite. Sample by B. Kosmowska-Ceranowicz from the Museum of the Earth in Warsaw

зрения, поскольку важной и до сих пор не решенной проблемой является степень их генетического, ботанического и химического родства, и изучение его с помощью ИК-спектроскопии и хромато-масс-спектрометрии может помочь в решении этой проблемы. Кроме того, схожесть геологического возраста и условий залегания вмещающих пород также представляет интерес для сравнения палеогеографии территорий современной Саксонии и Среднего Урала. Исследование химического строения, а также геологических и геохимических условий образования кранцита и «колчеданского янтаря» в частности позволит уточнить и развить ныне существующие далеко не совершенные классификации ископаемых смол. Поскольку кранцит из п. Колчедан относится к хрупким разновидностям смол, то представляет интерес как сырье для химической промышленности, однако как ювелирное сырье не может быть использован. Указанное обстоятельство следует иметь в виду при оценке перспектив янтареносности Среднего Урала.

Таким образом, «колчеданский янтарь» представляет собой богатый и интересный материал, который еще ожидает научной обработки.

Автор искренне признателен И. Г. Малаховой за ценные замечания при подготовке рукописи.

Работа выполнена в рамках темы № АААА-А20--120030490104-4 *государственного задания Геологического института РАН.*

Литература

1. *Геннин В. И.* Описание уральских и сибирских заводов. 1735. М.: История заводов, 1937. 656 с.

2. *Доброхотов Ф. П.* Урал: Северный, Средний, Южный: Справочная книга. Петроград: Изд. Б. А. Суворина, 1917. 704 с.

3. *Карпинский А. П.* Геологические исследования и каменноугольные разведки на восточном склоне Урала // Горн. журнал. 1880. № 1. С. 84—100.

5. *Кеппен Ф. П.* О нахождении янтаря в пределах России // Журн. мин-ва народ. просвещ. 1893. Ч. 283. № 8. С. 301—342.

6. *Мамышев Н. Р.* О месторождении янтаря близ Каменского завода в Екатеринбургском округе // Горн. журнал. 1836. Ч. 2. Кн. 4. С. 180—186.

7. *Мартиросян О. В.* Есть ли янтарь на Среднем Урале? // Вестник геонаук. 2020. № 6. С. 27—30.

8. *Мартиросян О. В., Богдасаров М. А.* Ископаемые смолы: диагностика, классификация и структурные преобразования в условиях термального воздействия // Вестн. ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 4. С. 10—15.

9. *Орлов Н. А., Успенский В. А.* Минералогия каустобиолитов. М.; Л.: АН СССР, 1936. 198 с.

10. *Савкевич С. С.* Янтарь. Л.: Недра, 1970. 190 с.

11. *Севергин В. М.* Опыт минералогического землеописания Российского государства. Ч. 2. СПб.: Тип. ИАН, 1809. 240 с.

12. *Anderson K. B., Muntean J. V.* The nature and fate of natural resins in the geosphere. Part X. Structural characteristics of the macromolecular constituents of modern Dammar resin and Class II ambers // Geochem. Trans. 2000. V.1. P. 56—81.

13. *Barozzi de Elsa*. Bericht // Vaterländisches Archiv für Wissenschaft, Kunst, Industrie und Agrikultur: oder preussische provinzial-Blätter. Kenigsberg. 1836. Bd. 16. C. 306—308.

14. *Bergemann C.W.* Über ein neues fossiles Harz aus der Braunkohle (Krantzit) // J. Prakt. Chem. 1859. Bd. 76. H. 2. S. 65—69.

15. *Georgi J. G.* Geographisch-physikalische und naturhistorische Beschreibung des Russischen Reichs zur Uebersicht bisheriger Kentnisse von demselben: 4 Th. in 13 Bd. Königsberg: Friedrich Nocolovius, 1797—1802: Th. 2. Bd. 1. 1798. 286 S.

16. *Katinas V.* Fossil resin studies by chemical and physical method // 6th Meeting on amber and amber-bearing sediments: Abstracts. Warsaw: Museum of the Earth PAN, 1988. P. 35—37.

17. *Kosmowska-Ceranowicz B.* Succinite and some other fossil resins in Poland and Europe (deposits, finds, features and differences in IRS) // Estudios del Museo de ciencias naturals de Alava. 1999. Vol. 14. № 2. P. 73—117.

18. Kosmowska-Ceranowicz B., Krumbiegel G. R. Bursztyn bitterfeldzki (saksonski) i inne zywice kopalne z okolic halle (NDR) // Przegląd Geologiczny. 1990. Vol. 38. № 9. S. 394—440.

19. *Kosmowska-Ceranowicz B.* Bursztyn i inne zywice kopalne swiata. Krancyt // Polski Jubiler. 2002. № 2 (16). S. 26—27.

20. *Lowitz T.* Meditations experimentis superstructae de vero agenda modo pulveris carbonum dum vim suam depuratricem exserit Kamensk // Nova acta Acad. sci. petrop. 1806. T. 15. P. 326—333.

21. *Pallas P. S.* Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs in den Jahren 1768—1773. St. Ptb.: Akad. Wis., 1786. 2. T. 1. 476 S.

22. *Spirgatis H.* Ueber die Identitat des sogenannten unreifen Bernsteins mit dem Krantzit // Sitzungsber. Der Konigl. Bayrischen Akad. Wis. 1871. Bd. 12. S. 172—176.

23. *Vahldiek B.W.* Bernstein aus dem Tagebau Schöningen, Baufeld Süd, (Nieder-sachsen, Norddeutschland): Der Mutterbaum von Krantzit ist identifiziert! // Arbeitskreis paläontologie hannover. 2015. Vol 43. H. 2. S. 35—46.

References

1. Gennin V. I. *Opisaniye ural'skikh i sibirskikh zavodov. 1735.* (Description of Ural and Siberian factories. 1735). Moscow: History of Factory, 1937, 656 p.

2. Dobrohotov F. P. *Ural: Severnyy, Sredniy, Yuzhnyy* (The Urals: North, Middle, South). Reference book. Petrograd: ed. by B.A. Suvorin, 1917, 704 p.

3. Karpinskiy A. P. *Geologicheskiye issledovaniya i kamennougol'nyye razvedki na vostochnom sklone Urala* (Geological survey and coal prospecting on the Eastern slope of the Urals). Mining Journal, 1880, No. 1, pp. 84–100.

5. Koeppen F. P. *O nakhozhdenii yantarya v predelakh Rossii* (On finding amber within Russia). Journal of the Ministry of National Education, 1893, V. 283, No. 8, pp. 301–342.

6. Mamyshev N. R. *O mestorozhdenii yantarya bliz Kamenskogo zavoda, v Yekaterinburgskom okruge* (About the deposit of amber near Kamensky factory, in Ekaterinburg district). Mining Journal, 1836, V. 2, No. 4, pp. 180–186.

7. Martirosyan O. V. *Yest' li yantar' na Srednem Urale?* (Is there amber in Middle Urals?) Vestnik of Geosciences, 2020, No. 6, pp. 27–30.

8. Martirosyan O. V., Bogdasarov M. A. *Iskopayemyye smoly: diagnostika, klassifikatsiya i strukturnyye preobrazovaniya v usloviyakh termal'nogo vozdeystviya* (Fossil resins: diagnostics, classification and structural transformations under thermal impact). Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2014, No. 4, pp. 10–15.

9. Orlov N. A., Uspensky V. A. *Mineralogiya kaustobiolitov* (Mineralogy of caustobiolites). Moscow, Leningrad: AS of the USSR, 1936, 198 p.

10. Savkevich S. S. *Yantar'* (Amber). Leningrad: Nedra, 1970, 190 p.

11. Severgin V. M. *Opyt mineralogicheskogo zemleopisaniya Rossiyskogo gosudarstva* (Experience of mineralogical land description of the Russian State). Ch. 2. St. Petersburg: typ. IAN, 1809, 240 p.

12. Anderson K. B., Muntean J. V. The nature and fate of natural resins in the geosphere. Part X. Structural characteristics of the macromolecular constituents of modern Dammar resin and Class II ambers. Geochem. Trans. 2000, V. 1. pp. 56–81.

13. Barozzi de Elsa. Bericht. Vaterländisches Archiv für Wissenschaft, Kunst, Industrie und Agrikultur: oder preussische provinzial-Blätter. Kenigsberg, 1836, Bd. 16, pp. 306–308.

14. Bergemann C.W. Über ein neues fossiles Harz aus der Braunkohle (Krantzit). J. Prakt. Chem, 1859, Bd. 76, H. 2, pp. 65–69.

15. Georgi J. G. Geographisch-physikalische und naturhistorische Beschreibung des Russischen Reichs zur Uebersicht bisheriger Kentnisse von demselben: 4 Th. in 13 Bd. Königsberg: Friedrich Nocolovius, 1797-1802: Th. 2, Bd. 1, 1798, 286 p.

16. Katinas V. Fossil resin studies by chemical and physical method. 6th Meeting on amber and amber-bearing sediments: Abstracts. Warsaw: Museum of the Earth PAN, 1988, pp. 35–37.

17. Kosmowska-Ceranowicz B. Succinite and some other fossil resins in Poland and Europe (deposits, finds, features and differences in IRS. Estudios del Museo de ciencias naturals de Alava. 1999, V. 14, No. 2, pp. 73–117.

18. Kosmowska-Ceranowicz B., Krumbiegel G. R. Bursztyn bitterfeldzki (saksonski) i inne zywice kopalne z okolic halle (NDR). Przegląd Geologiczny. 1990, V. 38, No. 9, pp. 394–440.

19. Kosmowska-Ceranowicz B. Bursztyn i inne zywice kopalne swiata. Krancyt. Polski Jubiler. 2002, No. 2 (16), pp. 26–27.

20. Lowitz T. Meditations experimentis superstructae de vero agenda modo pulveris carbonum dum vim suam depuratricem exserit Kamensk. Nova acta Acad. sci. petrop. 1806, Bd. 15, pp. 326–333.

21. Pallas P. S. Reise durch verschiedene Provinzen des Russischen Reichs in den Jahren 1768—1773. St. Petersburg: Akad. Wis., 1786, Bd. 2, H. 1, 476 p.

22. Spirgatis H. Ueber die Identitat des sogenannten unreifen Bernsteins mit dem Krantzit Sitzungsber. Der Konigl. Bayrischen Akad. Wis. 1871, Bd. 12, pp. 172–176.

23. Vahldiek B.W. Bernstein aus dem Tagebau Schöningen, Baufeld Süd, (Nieder-sachsen, Norddeutschland): Der Mutterbaum von Krantzit ist identifiziert! Arbeitskreis paläontologie hannover, 2015, V. 43, H. 2, pp. 35–46.

Received / Поступила в редакцию 21.02.2022



Арктический вектор геологических исследований
Arctic vector of geological research

УДК 549:902 DOI: 10.19110/geov.2022.3.4

Шлаки из раскопок археологического памятника — городище Кобылиха (Ненецкий автономный округ)

А. М. Мурыгин[1], И. С. Астахова[2]

[1]Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; *alek-murygin@yandex.ru*
[2]Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; *astakhova@geo.komisc.ru*

Приводятся результаты исследований шлаков из раскопок археологического памятника — городище Кобылиха (Ненецкий автономный округ). Аналитические исследования проводились с помощью оптического и сканирующего электронного микроскопов и спектроскопическими методами.

В результате проведения детального минералого-химического исследования был установлен кремнисто-железистый состав шлаков с примесями алюминия, кальция, фосфора и калия. Концентрации элементов-примесей — Cu, Pb, Mg, Ni, Ti, Cr, V — не велики. По химическому составу проведены оценки вязкости и основности расплава. Показатель вязкости указывает на жидкотекучесть расплава. Коэффициент основности шлаков позволяет отнести их к группе кислых. Микрозондовые исследования установили преобладание фаялита, вюстита, железо-кремнистого стекла и восстановленного железа. Проведенные исследования позволяют сделать выводы об использовании руды из одного источника. Можно предположить использование окисных легкодобываемых железных руд. Плавка осуществлялась в печи при довольно высоких температурах (в пределах 1200–1400 °С) и с использованием флюсов. Шлак остывал достаточно медленно непосредственно в печи. Вероятно, плавка продолжалась длительное время. На городище Кобылиха металлургическое производство имело средние масштабы с использованием простых технологических схем.

Ключевые слова: *археометаллургия, шлак, производство железа, средние века, Большеземельская тундра.*

Slags from excavations of the archaeological monument — of the settlement of Kobylikha (Nenets Autonomous District)

A. M. Murygin[1], I. S. Astakhova [2]

[1]Institute of Language, Literature and History of Komi SC UB RAS, Syktyvkar,
[2]Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The results of studies of slag from excavations of the archaeological monument of the settlement of Kobylikha (Nenets Autonomous District) are presented. The analytical studies were based on optical and scanning electron microscopy and spectroscopic methods.

Our detailed mineralogical and geochemical studies resulted in determining siliceous-ferruginous composition of slags with impurities of aluminum, calcium, phosphorus, and potassium. Concentrations of Cu, Pb, Mg, Ni, Ti, Cr, V impurity elements are not large. According to the chemical composition, the viscosity and basicity of the melt were evaluated. The viscosity index indicates the fluidity of the melt. The basicity coefficient in the studied slags can be attributed to the group of acidic slags. Microprobe studies revealed the predominance of fayalite, wustite, iron-siliceous glass and reduced iron. The conducted studies allowed concluding on the use of a single ore from a single source. It is possible to assume the use of oxide easy-to-mine iron ores. Melting was carried out in a furnace at fairly high temperatures in the range of 1200—1400 °C and using fluxes. The slag cooled down rather slowly and directly in the furnace. Probably, the melting lasted for a long time. In the settlement of Kobylikha, metallurgical production had an average scale using simple technological schemes.

Keywords: *archaeometallurgy, slag, iron production, Middle Ages, Bolshezemelskaya tundra.*

Вопрос развития металлургии на северо-востоке Европейской части России остается слабо изученным. Впервые к проблеме происхождения источников черных металлов в Печорском крае обратились в процессе изучения археологических находок из Уньинского и Канинского пещерных святилищ [9, 10]. В 2001—2005 гг. В. И. Завьяловым и А. В. Бирюковым продолжены археометаллографические исследования средневекового кузнечного производства на северо-востоке Европейской части России [3, 8].

Для цитирования: Мурыгин А. М., Астахова И. С. Шлаки из раскопок археологического памятника – городище Кобылиха (Ненецкий автономный округ) // Вестник геонаук. 2022. 3(327). С. 31—41. DOI: 10.19110/geov.2022.3.4.

For citation: Murygin A. M., Astakhova I. S. Slags from excavations of the archaeological monument – of the settlement of Kobylikha (Nenets Autonomous District), 2022, 3 (327), pp. 31—41, doi: 10.19110/geov.2022.3.4.

Археологические и археометаллургические исследования способствуют выяснению исторических взаимосвязей между такими этапами производства как поиски и добыча руды, получение и обработка металла и изготовление из него предметов. Материальным свидетельством древней металлургии железа являются исходное сырье, остатки железоделательных печей, отходы производства [4, 5]. Несмотря на то, что шлак является ценнейшим источником для реконструкции железоделательных технологий, вопрос использования естественных методов их изучения остается малораспространенным.

Общая характеристика городище Кобылиха (раскопки 2019 г.)

Городище Кобылиха расположено на западе Большеземельской тундры, на правобережье долины р. Печоры, в пределах Заполярного района Ненецкого автономного округа. Оно было устроено в южной части оз. Городецкого, в 400 м к востоку от залива Кобылиха, на мысовидном выступе первой террасы высотой около 4—5 м от уреза воды озера (рис. 1). Открыто И. Б. Барышевым в 2001 г. [1, 2], исследовано им же в 2004, 2006, 2008 гг. В 2019 г. раскопки проведены А. М. Мурыгиным.

Поверхность памятника и обрыв к озеру задернованы, видимых разрушений не имеют. Площадка городища (50 ×17 м) частично снесена береговой эрозией. Вал и ров упираются концами в береговой склон и ограничивают площадку городища полукружьем. Высота валов от уровня площадки — до 0.5 м; глубина рва — до 0.5 м, ширина — до 1.5 м. Культуросодержащий слой, включающий все прослеженные до уровня погребенного подзола и подстилающих желтых песков почвенные горизонты, имел мощность до 105 см. Представлен гумифицированными супесчаными отложениями коричневатого и сероватого цвета.

Культуросодержащие отложения вскрывались условными горизонтами по 20 см. Первый горизонт был вскрыт на площади 48 м^2. Из-за резкого ухудшения погодных условий, сопровождавшихся дождями и падением температуры, после вскрытия первого горизонта участок Б раскопа (24 м^2) был законсервирован, и раскопки до уровня подстилающих отложений были сосредоточены на участке А (24 м^2). На всю толщину культуросодержащие почвенные слои были насыщены продуктами горения, существенно перемешаны, размыты и мозаичны из-за чрезвычайно сильной турбированности корнями растений и норами землероев, по которым в культуросодержащие почвенные отложения проникали погребенный подзол, мелкозернистый светложёлтый и рыжий (ожелезнённый) материковый песок.

В раскопе частично расчищены остатки постройки в виде обугленных досок или плах (часть складывалась в конструкцию прямоугольной формы), столбовая ямка, а также две неясные по функциональному назначению и происхождению впадины. Находки представлены преимущественно сырыми костями животных (часть со следами надрезов или застругов), кремневым инвентарем (отщепы и осколки, редко — орудия со скребковым краем), шлаками, в том числе с вкраплениями восстановленного железа, имевшими форму основания какой-то емкости. Керамика немногочисленна, типологически однородна и может быть охарактеризована как ямочно-гребенчатая с включением в орнамент фигурных штампов. Выделяется фрагмент стенки сосуда с горизонтально-линейным узором, предположительно от древнерусской керамики XII—XIII вв. (?). Также в числе находок — оселки из некремневой породы, железные изделия неустановленного назначения и железные обломки, ушко от котла и пластинки из цветного металла, височное кольцо из проволоки ромбического сечения, концы круглого сечения (белый металл), железные мездряки, фрагмент небольшого тигелька с приставшей каплей цветного металла. Кроме этого в коллекции представлены костяные изделия: ножи, деталь упряжи, «пестик». Независимо от категории вещевой инвентарь залегал на всю мощность почвенных отложений — от основания дернового слоя и вплоть до подстилающих песков. Явной закономерности в размещении по глубине залегания и плану не прослеживается.

Городище Кобылиха входит в состав недавно выделенной локальной группы археологических памятников *новоборского (нижнепечорского) культурного ти-*

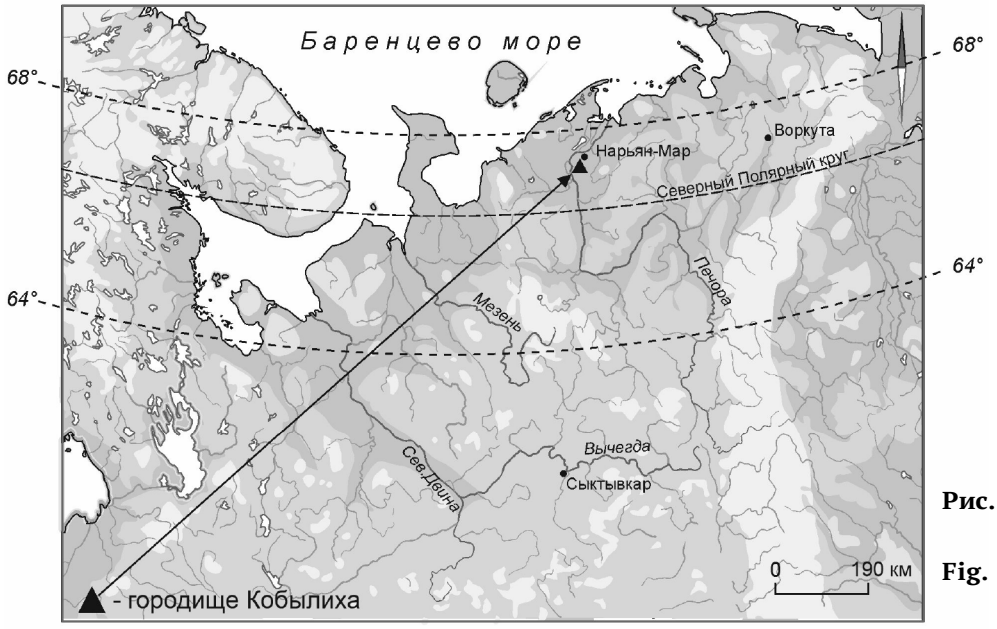


Рис. 1. Местоположение городища Кобылиха

Fig. 1. Geographical location of the settlement of Kobylikha

na, локализованных в облесенной долине Заполярной Печоры [13]. По традициям керамического производства эти объекты резко отличаются от существовавших в одно время с ними и расположенных в континентальной тундре. Наблюдается сходство с нижнеобско-ямальским и печорским (угорским или самодийским по этнокультурной принадлежности) кругами археологических культур.

На этом этапе исследования, до получения радиоуглеродных датировок и дальнейших раскопок памятник может датироваться эпохой средневековья в достаточно широком временном диапазоне (вторая пол. I — первая пол. II тыс. н. э.).

Методы исследования

Исследования отходов металлургии (шлаков) из раскопок 2019 г. проводилось в Центре коллективного пользования «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Фазовый состав 5 образцов из разных горизонтов определялся по дифрактограммам неориентированных образцов. Съемка проводилась на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-6000. излучение Cu$K\alpha$, Ni фильтр, 30kV, 20 mA, область сканирования 2θ 2—65° (аналитик Ю. Симакова). Химический состав (21 образец) изучался с помощью приближенно-количественного рентгенофлуоресцентного анализа методом фундаментальных параметров (аналитик С. Неверов). Результаты приближенно-количественного эмиссионного спектрального анализа по 21 образцам стандартизированы по альбитизированному граниту (СГ-1А) (аналитик Л. Антонова). Минеральный состав изучался по 8 образцам с помощью сканирующего электронного микроскопа TescanVega3 LMH, оборудованного EDS-системой микроанализа INCAX-MAX 50 mm фирмы «Oxford Instruments» (напряжение — 20 кВ, сила тока — 15 нА, вакуум — 0.05 Па, диаметр пучка 2 мкм). Химический элемент (эталон), погрешность в мас. %: Fe (Fe), 0.37; Bi (Bi), 1.04; Cu (Cu), 0.36; Si, O (SiO_2), 0.14; Pb (PbTe), 0.27; As (InAs), 0.41; Sb (Sb), 0.25; Ni (Ni), 0.24; Ag (Ag), 0.69 (аналитик Е. Тропников).

Характеристика шлаков

Современный эмпирический опыт позволяет говорить, что минимальная выборка шлаков с одного поселения должна быть не менее 20 образцов [6]. Был отобран 21 шлак с различных глубин раскопа (табл. 1).

Цвет шлаков — от темно-коричневого с участками ржавчины до черного. Относительная пористость устанавливалась визуально. Бóльшая часть (45 %) исследуемых шлаков отнесена к группе со средней пористостью, в которой установлено присутствие до 10 % пор с размером 0.1—0.3 см на 1 см^2. Чуть меньше (40 %) шлаков имеют низкую пористость, где установлено до 5 % пор с размером менее 0.3 см на 1 см^2. В пяти образцах пористость высокая, с размером пор до 0.5 см. Подавляющее большинство образцов представлено легкими уплощенными кусками шлака лепешковидной формы. Несколько образцов шлаков являются отдельными фрагментами или имеют неправильную, аморфную форму (рис. 2). Форма шлаков, имеющих оплавленные поверхности, позволяет говорить о жидкотекучести. Некоторые образцы (I/13, II/57, I/22, I/23, II/20. II/48, II/62, III/9, III/10. III/12) имеют вогнутую ровную округлую нижнюю поверхность с гладкими участками и металлическим блеском. Верхняя поверхность на шлаках чаще всего бугристая, мелкозернистая с шарообразными или червеобразными образованиями шлака. На единичных образцах установлены металлические корольки металла размером менее 1 мм. На верхней поверхности образцов (I/38, IV/3) обнаружены песчинки, окатанные зерна кварца (грунт или обмазка печи) и кости. Края большей части шлаков коллекции оплавлены, иногда неровные. Лишь у пяти образцов (I/13, II/48. II/62, IV/4, IV/6) прослежены кавернозные края.

Минералого-химический состав шлаков

Для выявления особенностей минерального состава шлаков были изучены 8 аншлифов из разных горизонтов под микроскопом в отраженном свете, что позволило диагностировать основные фазы. Визуально установлено, что минеральный состав исследуемых шлаков однообразен, но содержание того или иного минерала варьируется. Преимущественно шлаки сложены кварцевым стеклом (10—60 %), оливином (10—40 %), вюститом (10—30 %) и хромшпинелидами (0—1 %).

Рентгенодифракционные исследования уточнили состав. Во всех образцах присутствуют как рентгеноаморфные соединения железа, так и различные модификации оксидов железа (гематит, магнетит), а также обнаружены фаялит (форстерит), полевые шпаты и кварц. В одном образце (IV/4 178) установлен пироксен (до 20 %) и рутил (до первых процентов). Особый интерес представляет кварц и выявленные модификации кремнезема — кристобалит и тридимит. Они встречаются во всех шлаках, где содержание кристобалита от 3 до 29 % , тридимита — 8—10 %. Обнаружение кристобалита указывает, что плавка достигала высоких температур. Также, данным методом во всех образцах установлен муллит от 3 до 13 %. Наличие муллита связывают с температурным режимом, который характеризует температуру кристаллизации, приближающуюся к области эвтектики анортит — муллит — тридимит (1345 °С) [14].

Микрозондовые исследования выявили схожесть минерального состава шлаков из различных горизонтов, однако некоторые минералы, установленные рентгенофазовым анализом, не были обнаружены. Во всех шлаках преобладает фаялит разных морфологических форм. Так, в шлаках I/38, IV/7 фаялит представлен хорошо ограненными зернами состава $(Fe_{1.89}\times \times Mg_{0.08})_{1.97}Si_{0.99}O_4$ и образует общую массу (рис. 3, а). В них присутствуют незначительные примеси фосфора (до 0.25 мас. %), кальция (0.68 мас. %) и марганца (0.38 мас. %). В составе шлака II/48 фаялит представлен удлиненными призматическими кристаллами размером до 5 мм. При этом игольчатые и более мелкие выделения по границам фаялитовых зерен создают дендритовые и решетчатые структуры (рис. 3, с). Пространство между фаялитовыми зернами или часть шлака на 30 % сложены железо-кремнистым стеклом. Во всех шлаках стекло неоднородно по структуре. Состав основной массы соответствует содержаниям (мас. %): SiO_2 (38.24); FeO (23.95); CaO (12.77); Al_2O_3 (9.18); K_2O (8.67); P_2O_5 (5.13); Na_2O (2.28). В стекле зафиксировано присутствие алюминия, калия, кальция, наличие

Таблица 1. Характеристика коллекции шлаков

Table 1. Characteristics of the slag collection

Номер образца Sample No.*	Глубина от усл. «0», см Depth from conditional 0, cm	Цвет Color	Пористость Porosity	Толщина Thickness	Форма Shape
1	2	3	4	5	6
I/1	151	Темно-коричневый, участками ржавчина Dark brown, patches of rust	Средняя, поры до 0.3 см Medium pores up to 0.3 cm	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, аморфная с оплавленными краями; поверхность с одной стороны бугристая ровная с червеобразными образованиями Amorphous, irregular shape with melted edges; the surface is uneven on one side, smooth with worm-like formations on one side
I/13	140	Темно-коричневый Dark brown	Выше средней, поры до 0.5 см Above medium, pores up to 0.5 cm	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с кавернозными краями, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая ровная Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with cavernous edges, slightly concave; the surface is uneven on one side
I/22	120	Темно-коричневый до черного	Средняя, поры до 0.3 см Medium pores up to 0.3 cm	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с кавернозными краями, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая ровная Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with cavernous edges, slightly concave; the surface is uneven on one side
I/23	118	Темно-коричневый до черного Dark brown to black	Ниже средней, поры до 0.2 см Below medium pore up to 0.2 cm	До 0.6 см Up to 0.6 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с кавернозными краями, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая ровная Flattened, flat-shaped, irregularly shaped with cavernous edges, slightly concave; the surface is uneven on one side
I/38	160	Темно-коричневый Dark brown	Ниже средней, поры до 0.2 см Below medium pore up to 0.2 cm	От 2 см в центре до 1 см по краям From 2 cm in the center to 1 cm at the edges	Скорее всего, обломок лепешковидной формы, края оплавлены с отдельными неровными участками, поверхность с одной стороны бугристая ровная с другой — налипшие округлые выделения кварцевой окатанной гальки размером до 0.5 см Most likely, a fragment of a flat-shaped form, the edges are melted with separate uneven areas, the surface on one side is bumpy and even, on the other side there are sticky rounded precipitates of rounded quartz pebbles up to 0.5 cm in size
II/20	174	Темно-коричневый Dark brown	Средняя, поры до 0.3 см Medium pores up to 0.3 cm	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными и участками, края неровные, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая ровная Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with cavernous edges, slightly concave; the surface is uneven on one side

* Здесь и далее римская цифра — номер условного горизонта, арабская — номер образца.

* Here and below, Roman numeral — number of the conditional horizon, Arabic numeral — number of the sample.

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
II/48	180	Темно-коричневый до черного металлического Dark brown to black metallic	Ниже средней, поры до 0.2 см Below medium pore up to 0.2 cm	От 2 см в центре до 0.5 см по краям From 2 cm in the centerto 0.5 cm at the edges	Неправильная, уплощенная, лепешковидная, чуть вогнутая, с кавернозными краями; поверхность с одной стороны бугристая ровная с единичными округлыми выделениями шлака Flattened, flat-shaped , irregularly shaped, slightly concave with cavernous edges; the surface is uneven on one side with single rounded slag deposits
II/53	190	Темно-коричневый до черного металлического Dark brown to black metallic	Выше средней, поры до 0.5 см Above medium, pores up to 0.5 cm	От 2 см в центре до 1 см по краям From 2 cm in the center to 1 cm at the edges	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными и местами неровными краями; поверхность с одной стороны бугристая ровная Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with cavernous edges, slightly concave; the surface is uneven on one side
II/57	177	Темно-коричневый до черного Dark brown to black	Средняя, поры до 0.3 см Medium pores up to 0.3 cm	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными и местами неровными краями, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая, с другой — округлые выделения шлака Flattened, flat-shaped, irregularly shaped, slightly concave with cavernous edges; the surface is uneven on one side with rounded slag deposits
II/62	180	Темно-коричневый Dark brown	Ниже средней, поры до 0.2 см Below medium pore up to 0.2 cm	От 2 см в центре до 0.5 см по краям From 2 cm in the center to 0.5 cm at the edges	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с кавернозными краями, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая ровная Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with cavernous edges, slightly concave; the surface is uneven on one side
III/9	182	Темно-коричневый до черного Dark brown to black	Ниже средней, поры до 0.2 см Below medium pore up to 0.2 cm	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, лепешковидная с незначительной кавернозностью по краям, чуть вогнутая, поверхность с одной стороны бугристая Flattened irregularly shaped with slight cavernousness along the edges, slightly concave; the surface is bumpy on one side
III/10	187	Темно-коричневый, участками до черного Dark brown to black	Средняя, поры до 0.3 см Medium pores up to 0.3 cm	До 0.5 см Up to 0.5 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными краями, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая ровная, с другой — налипшие шарики Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with melted edges, slightly concave; the surface is bumpy on one side, smooth on the other, sticky balls
III/12	156	Темно-коричневый, участками ржавчина Dark brown, patches of rust	Выше средней, поры до 0.5 см Above medium, pores up to 0.5 cm	До 0.7 см Up to 0.7 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными краями, чуть вогнутая; поверхность с одной стороны бугристая, с другой — налипшие шарики Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with melted edges, slightly concave; the surface is bumpy on one side, smooth on the other, sticky balls

Окончание таблицы 1 / End of table 1

1	2	3	4	5	6
III/13	165	Темно-коричневый, участками до черного Dark brown to black	Средняя, поры до 0.5 см Medium pores up to 0.5 cm	До 0.9 см Up to 0.9 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными краями; поверхность с одной стороны бугристая ровная, с другой — металлические червеобразные образования (натеки) Flattened, flattened irregularly shaped with melted edges; the surface is uneven on one side, smooth, on the other, metal worm-like formations (sagging)
III/14	182	Темно-коричневый, участками ржавчина Dark brown, patches of rust	Выше средней, поры до 0.5 см Above medium, pores up to 0.5 cm	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными краями; поверхность бугристая Flattened, flat-shaped irregularly shaped with fused edges; bumpy surface
IV/3	225	Темно-коричневый, участками ржавчина Dark brown, patches of rust	Ниже средней, поры до 0.2 см Below medium pore up to 0.2 cm	До 1.2 см Up to 1.2 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с отбитыми краями; поверхность с одной стороны ровная, с другой — бугристая с налипшими песчинками Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with broken edges; the surface is even, on the other hand it is bumpy with adhering grains of sand
IV/4	178	Темно-коричневый Dark brown	Выше средней, поры до 0.5 см Above medium, pores up to 0.5 cm	До 1.2 см Up to 1.2 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с кавернозными краями; поверхность с одной стороны ровная, с другой — бугристая с налипшими шлаком и костями Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with cavernous edges; the surface is even, on the other side it is bumpy with adhering slag and bones
IV/6	222	Темно-коричневый Dark brown	Ниже средней, поры до 0.2 см Below medium pore up to 0.2 cm	2×2 см 2×2 cm	Кусочки шлака с кавернозными краями; поверхность с обеих сторон ровная Pieces of slag with cavernous edges; the surface is even on both sides
IV/7	227	Темно-коричневый Dark brown	Средняя, поры до 0.2 см Medium pores up to 0.2 cm	До 1.2 см Up to 1.2 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с оплавленными краями; поверхность с одной стороны ровная, с другой — бугристая Flattened, flat-shaped , irregularly shaped with melted edges; the surface is even, on the other side is bump
IV/8	229	Темно-коричневый, участками ржавчина Dark brown, patches of rust	Средняя, поры до 0.2 см Medium pores up to 0.2 cm	До 1.4 см Up to 1.4 cm	Кусочки шлака с отбитыми краями; поверхность с обеих сторон ровная Pieces of slag with broken edges; the surface is even on both sides
объект № 5 Object No. 5	210-240	Темно-коричневый Dark brown	Средняя Medium	До 1 см Up to 1 cm	Неправильная, уплощенная, лепешковидная с загнутыми краями; с одной стороны гладкая поверхность с мелкими металлическими выделениями до 1 мм Flattened, flat-shaped irregularly shaped with curved edges; on one side smooth surface with small metallic precipitates up to 1 mm

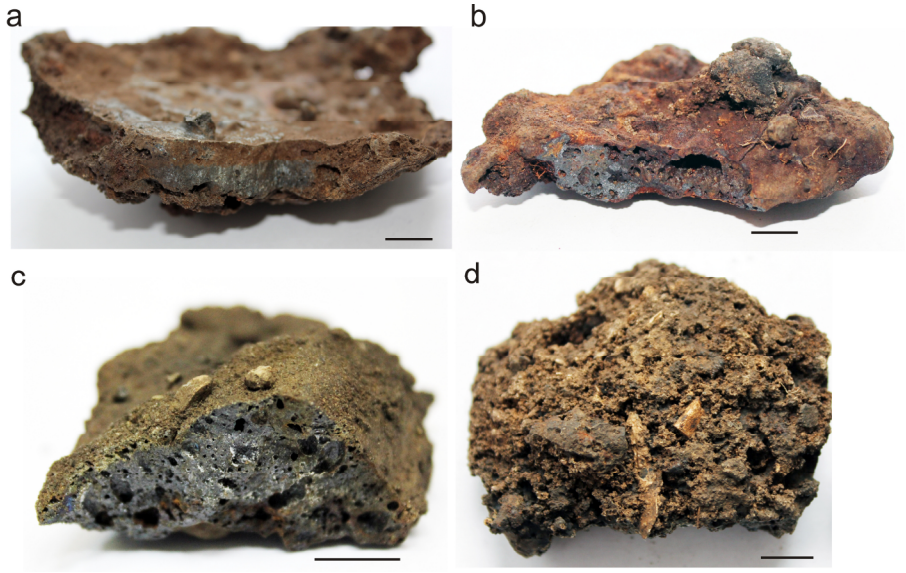


Рис. 2. Особенности шлаков из раскопа городища Кобылиха: a — с низкой пористостью, вогнутой лепешковидной формы с неровными краями, II/48; b — с высокой степенью пористости, аморфной лепешковидной формы с оплавленными краями, III/14; c — обломок средней пористости с оплавленными участками, неровными краями с налипшей кварцевой окатанной галькой, I/38; d — уплощенный неправильной лепешковидной формы с кавернозными краями, на поверхности червеобразные фрагменты и остатки костей

Fig. 2. Features of slag from the excavation of the settlement of Kobylikha: a — slag with low porosity of a concave flat-shaped shape with uneven edges, II/48; b — slag with a high degree of porosity of an amorphous flat-shaped shape with melted edges, III/14; c — a fragment of slag of medium porosity with melted, uneven edges with stuck quartz rounded pebbles, I/38; d — flattened flat-shaped irregular shape with cavernous edges, on the surface fragments of worm-like slag and the remains of bones

которых связывают с использованием костей животных в виде флюса [6]. Состав более светлоокрашенных участков отличается содержанием железа (до 40 %), наличием серы (0.7 %) и снижением содержания остальных элементов (рис. 3, a).

В шлаке II/48 стекло, слагающее основную массу, имеет более железистый состав с содержанием Fe (до 42 %) с примесями магния и кальция (до 7 %), алюминия (до 2 %), калия (1 %), фосфора и марганца (1 %). В стекле неравномерно распределены поры округлой формы размером до 1 мм и присутствуют кварцевые зерна округлой формы до 0.5 мм, в одном из которых обнаружено включение округлого зерна циркона $(Zr_{0.99}Hf_{0.01})Si_{0.99}O_4$. В составе этого же шлака темно-серое стекло с содержанием железа (до 14 %) и заметным увеличением примесей (до 10 %) образует округлые выделения размером от 1 до 10 мкм или скопления, цепочки в кристаллах фаялита. К этим скоплениям приурочены выделения гематита Fe_2O_3 угловатой формы размером до 10 мкм с примесями титана и хрома до 1 %. Также в стекле шлака I/38 обнаружено оплавленное зерно апатита $Ca_{4.57}P_{2.98}O_{12}(F, Cl)$ размером около 50 мкм (рис. 3, d). В составе апатита присутствуют примеси (мас. %): Fe (1.10); Sr (0.94); Na (0.50); Mg (0.21).

В шлаках из I, III и IV горизонтов обнаружен вюстит с содержанием железа (до 76 %) и примесями алюминия и кремния (до 1 %). Он образует скопления размером от 2 до 4 мм, но при более детальном исследовании скопления представляют собой оплавленные выделения вюстита размером до 100 мкм, которые создают решетчатую и дендритовую структуру. В самой фаялитовой матрице шлака первого горизонта обнаружены угловатые неправильной формы зерна вюстита с микропримесями кремнезема (0.59 %), серы (0.65 %) и мышьяка (0.68 %).

В составе всех шлаков выявлены восстановленные частицы железа размером от 20 до 100 мкм (рис. 3, b). Так, в шлаке первого горизонта в фаялите обнаружены единичные включения округлой формы с содержанием самородного железа до 97 мас. %, с примесями и мышьяка (2.54 %), и никеля (0.57 %). Оторочка зерен мощностью до 15 мкм представляет собой окисленное железо со снижением содержания до 69.81 %, присутствием кремния до 2 % и кальция до долей процентов.

Ранее установлено, что, несмотря на однообразный минеральный состав, шлак негомогенен, и химический состав может различаться в различных частях. Более того, в разных зонах древней металлургической печи могут формироваться различные температурные условия, влияющие на условия плавки и кристаллизацию минералов. Также на химический состав шлака может оказывать воздействие использование различных флюсов, шихта из различной руды, обмазка печи, металлургические процессы. Однако, археметаллургическими исследованиями установлено, что комплексное использование естественнонаучных методов позволяет получать достаточно адекватные картины древнего металлургического производства [4, 6, 15]. Для всех исследуемых шлаков характерны высокие содержания оксидов железа и кремнезема, а их колебание может быть объяснено отбором пробы, мощностью окисленной корки, минералогическим составом. В связи с этим результаты носят общий характер и были приведены к средним значениям относительно горизонтов отбора (табл. 2).

Соотношение главных компонентов SiO_2/Fe_2O_3 варьируется в пределах 1.00—1.22, что позволяет предположить получение шлаков из одного типа руды. Обращает на себя внимание содержание кальция, фосфора и калия. Содержание кальция в шлаках различ-

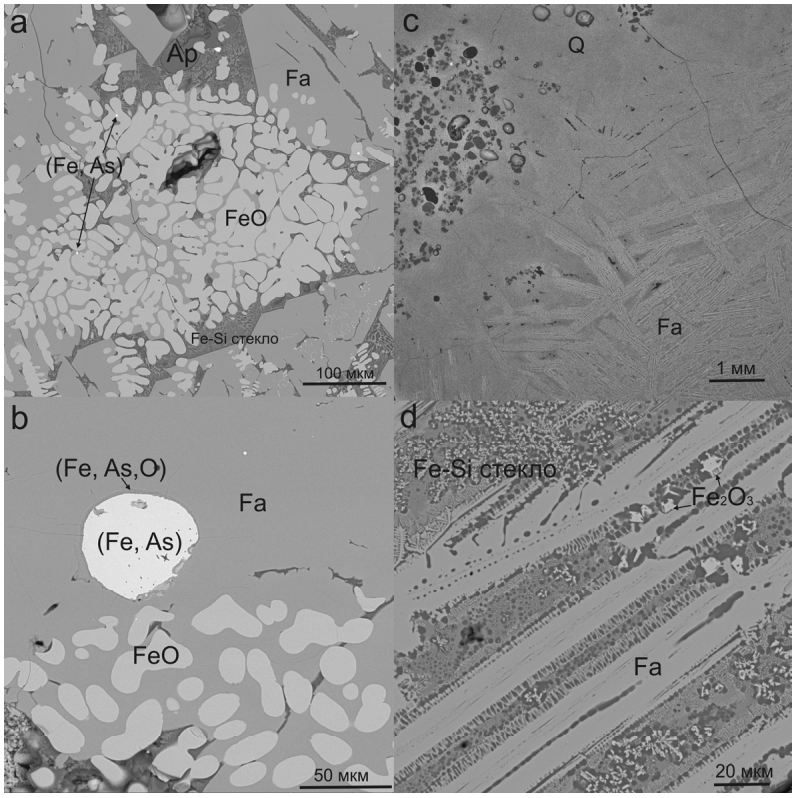


Рис. 3. Минеральный состав шлаков (СЭМ-снимки): FeO — вюстит; Fa — фаялит; Q — кварц; Fe, As, O — оксиды железа с примесью мышьяка; Fe_2O_3 — гематит; Fe-Si стекло — железо-кремнистое стекло; Ap — апатит

Fig. 3. Mineral composition of slags (SEM images): FeO — wustite; Fa — fayalite; Q — quartz; Fe, As, O — iron oxides with an admixture of arsenic; Fe_2O_3 — gematite; Fe-Si glass — iron-siliceous glass; Ap — apatite

ных горизонтов варьируется от 2.3 до 7.9, калия — 2.13—3.99, фосфора — 1.16—3.75 %. Наибольшие значения установлены в шлаках глубоких горизонтов. Содержание данных элементов объясняется переходом их из золы, использованием кальцита или костей в качестве флюса [6]. Содержание глинозема до 4—5 % может быть связано как с исходными рудами, так и с обмазкой печи. Резко отличаются шлаки по наличию меди и цинка. Так, в горизонтах I и III не установленны данные элементы, в одном образце из горизонта II содержание оксида меди 0.06 %, а в IV горизонте в трех образцах содержится 0.04—0.13%, при этом в них же установлены сотые доли процентов цинка.

По химическому составу шлака рассчитывают приблизительную вязкость расплава. Тем не менее, данный показатель используют для общих оценок и сопоставления шлаков. Расчеты произведены по формуле, предложенной Bachmann U. A. (1987), учитывающей соотношение снижающих вязкость окислов к окислам, повышающее ее, при температуре 1400 °С (табл. 2). В исследуемых шлаках данный показатель указывает на жидкотекучесть расплава и объясняется поступлением компонентов, влияющих на снижение вязкости. Соответственно, коэффициент основности в этих шлаках позволяет отнести их к группе кислых шлаков, в которых обнаруживается большое содержание стекла.

В археометаллургии применяется построение термальных диаграмм на основе химических анализов. Подобные диаграммы, сделанные на основе общего химического анализа, чаще указывают как на реальный температурный диапазон, так и на завышенный, поскольку химический анализ учитывает и тугоплавкие компоненты. Используя этот метод, оценен температурный режим металлургического процесса с помощью построения фазовой диаграммы системы FeO—SiO_2—CaO (рис. 4). Из диаграммы видно, что плавка осуществлялась в печи при довольно высоких температурах (в пределах 1200—1400 °С). С помощью приближено-количественного эмиссионного спектрального анализа ре-

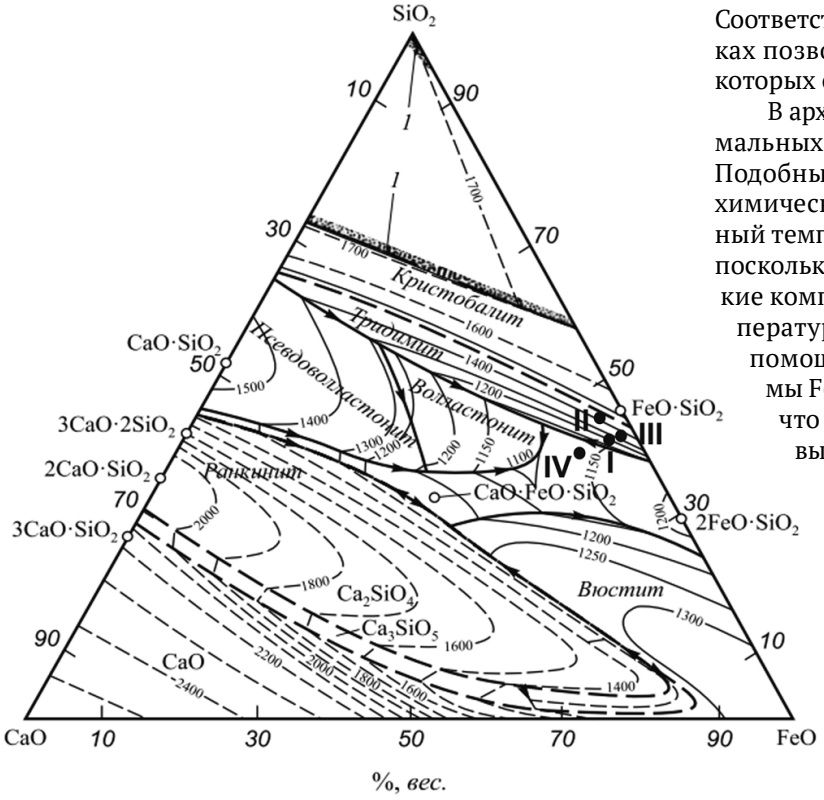


Рис. 4. Фазовая диаграмма FeO – SiO_2 – CaO для шлаков городища Кобылиха [12]

Fig. 4. FeO – SiO_2 – CaO phase diagram for the slags of the Kobylikha settlement [12]

Таблица 2. Химический состав шлаков / **Table 2.** Chemical composition of slags

	I (n = 5)	II (n = 5)	III (n = 5)	IV (n = 5)	Об. № 5
SiO_2	46.48	42.30	48.71	40.49	43.60
TiO_2	0.11	0.17	0.08	0.15	0.12
Al_2O_3	4.81	5.92	3.91	5.89	4.24
Fe_2O_3 общ	39.26	42.10	39.90	34.45	39.45
MnO	0.31	0.31	0.26	0.99	0.58
MgO	0.83	1.11	0.82	2.05	1.46
CaO	3.02	3.07	2.30	7.97	4.46
Na_2O	0.68	0.76	0.63	0.72	0.77
K_2O	2.40	2.64	2.13	3.32	3.99
P_2O_5	2.00	1.51	1.16	3.75	1.27
SO_3	0.11	0.11	0.11	0.14	0.10
SrO	0.02	0.03	0.02	0.05	0.03
ZrO_2	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
ZnO	-	-	-	0.02	-
CuO	-	0.01	-	0.05	-
Сумма	100	100	100	100	100
Коэффициенты / Coefficients					
Kz	0.91	1.04	0.88	1.07	1.06
n 1400 (Pa·s)	4.93	4.25	5.13	4.11	4.15
Основность / Basicity $(CaO + MgO + Fe_2O_3 + MnO)/(SiO_2 + P_2O_5 + TiO_2)$	0.89	1.06	0.87	1.02	1.02

шают проблему перехода микропримесей из руды в шлак. Однако, установлено, что результаты данного анализа могут давать значительный разброс [6]. Для бронзолитейного производства основными диагностирующими элементами, использованными для отнесения металла к той или иной химико-металлургической группе, являются As, Sb, Sn, Pb, Ni, Ag, Bi [15].

К группе с низким коэффициентом перехода элементов в шлак Е. Н. Черных [15] отнес Ag, Sb, Au, As, Bi. К нейтральной группе — Ni, Pb, Sn, Zn, Co. К группе с повышающим коэффициентом отнесены Mn, Ti, V, Mo. Тем не менее, базируясь на предыдущих исследованиях, можно дать какие-то оценочные суждения. Как и для оценки общего химического состава шлаков, данные спектрального анализа по отдельным элементам суммировались и делились на количество анализов. В результате были получены усредненные значения элементов-примесей по горизонтам обнаружения шлаков. В исследуемых шлаках основными элементами являются Fe, Si, Al и Mg, не обнаружены As, Sb, Sn, Co, Ag, Bi. Концентрация остальных элементов-примесей не велика, и существенных изменений в содержании относительно горизонта отбора нет, поэтому можно сделать выводы об использовании руды из одного источника (рис. 5). Так, концентрация меди варьируется от 27 до 40 г/т с максимумом в шлаке из III горизонта. Содержание свинца изменяется в пределах 25—27 г/т, при этом наибольшая концентрация установлена в IV горизонте. Аналогичное распределение установлено для никеля и хрома. Титан с максимальным содержанием до 800 г/т установлен в шлаках из второго горизонта, концентрации в первом слое чуть ниже. В шлаках второго и третьего горизонтов обнаружено наиболее высокое содержание ванадия (до 35 г/т). Содержание марганца варьируется от 1500 до 3500 г/т с максимумом в четвертом горизонте. Содержание молибдена преимущественно 0.25 г/т во всех горизонтах, но в первом слое концентрация возрастает до 0.28 г/т.

Обсуждение результатов

В силу немногочисленного археологического материала и отсутствия накопленных данных по металлографии Печорского Заполярья сложно говорить об уровне развития технологий плавки железных руд и о рудной базе. К сожалению, у нас нет никаких данных о подготовке руды к плавке. По результатам исследования шлаков городища Кобылиха можно предположить, что использовались окисные легкодобываемые руды. В качестве сырья использовались, скорее всего, кварцевые железосодержащие породы. Подтверждением этого служит обнаружение в кварцевом стекле включений циркона и апатита. Циркон и апатит генетически могут быть связаны как с магматогенными, так и осадочными горными породами. Нельзя исключать присутствие и какого-то количества сульфидных минералов, например, пирита, которые способствуют поддержанию восстановительной атмосферы. Подтверждением служат невысокие концентрации меди и мышьяка в восстановленном железе. При этом зерна кварца нетипичны для шлака, так как обычно он растворяется в расплаве и затем переходит в фаялит. Не исключена возможность использования кварцсодержащих пород в качестве флюса [7], но подтвердить или опровергнуть это без находок исходной руды достаточно сложно. В связи с единичным обнаружением гематита (только в шлаке второго горизонта) в качестве акцессорного минерала, природу по-

явления можно объяснить составом исходной руды или технологией плавки.

Фаялитовый состав шлака является классическим при металлургии железа, и его образование описывается возможными формулами:

1 этап: $2FeS + 3O_2 \rightarrow 2FeO + 2SO_2$ — реакция сульфида железа, с кислородом и образование вюстита и сернистого газа или $2Fe_2O_3+CO \rightarrow 2FeO+CO_2$ — реакция гематита с монооксидом углерода и образование вюстита и диоксида углерода;

2 этап: $2FeO + SiO_2 \rightarrow 2FeO{\cdot}SiO_2$ — реакция вюстита с силикатным компонентом с образованием фаялитового шлакового расплава.

Обычно температуры образования фаялитовых шлаков колеблются в пределах 1200—1300 °С, хотя в отдельных случаях исследованиями установлены и более высокие температуры [7]. В исследованных шлаках кристаллы оливина имеют разные формы выделения, что может указывать на разные условия кристаллизации. Удлиненно-призматическую форму кристаллов оливина связывают с достаточно высокой скоростью остывания расплава или данного конкретного фрагмента шлака. Такую картину мы наблюдаем в микроструктуре шлака из второго горизонта. В большинстве образцов хорошо оформились таблитчатые кристаллы оливина. Благодаря добавлению флюса, расплав был текучим и кислым. Затвердевание кислых шлаков шло плохо, поэтому образование крупных таблитчатых кристаллов затруднительно. Однако в исследованных шлаках фаялит крупнокристаллический, что позволяет сделать вывод, что шлак остывал достаточно медленно и непосредственно в печи. Вероятно, плавка продолжалась длительное время. Температуры не вполне ясны, но довольно высокие. Основная часть шлаков формировалась за счет восстановления из какого-то железистого минерала. В результате вюстит, образуясь, расплавлялся. Однако часть его формировалась за счет кристаллизации из расплава, образуя крупные оплавленные дендриты. Судя по всему, в интервале кристаллизации фаялита и вюстита (1205—1360 °С) шлак остывал очень медленно при восстановительной атмосфере плавки. Следовательно, формировались они, когда шлак протек вниз и больше не перемещался. Предложенный температурный предел подтверждается и температурными расчетами, сделанными на основе общего химического анализа шлака. Более высокие температуры установлены для шлаков из второго горизонта, в котором обнаружены единичные зерна гематита. Температура плавления гематита около 1539 °С, расплавляясь, он переходит в вюстит. При температурах выше 700 °С в присутствии углерода вюстит будет восстанавливаться до железа. Однако, эти рассуждения справедливы для случая, когда система находится в стандартных условиях, т. е. при p_{CO}= 0.1 МПа [6]. Возможно поэтому все образцы шлаков содержат восстановленные, часто оплавленные частицы железа.

Заключение

По результатам исследования можно сделать вывод, что на городище Кобылиха металлургическое производство имело, скорее всего, средние масштабы, использовались простые технологические схемы, широко используемые в эпоху средневековья. На сегодняшний день можно только предполагать использование в черной металлургии местных окисных руд из месторождений Большеземельской тундры.

Работа выполнена в рамках тематических планов «Особенности формирования населения севера Европейской части России в древности и средневековье по данным археологии», «Развитие минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральско-Баренцевомор-

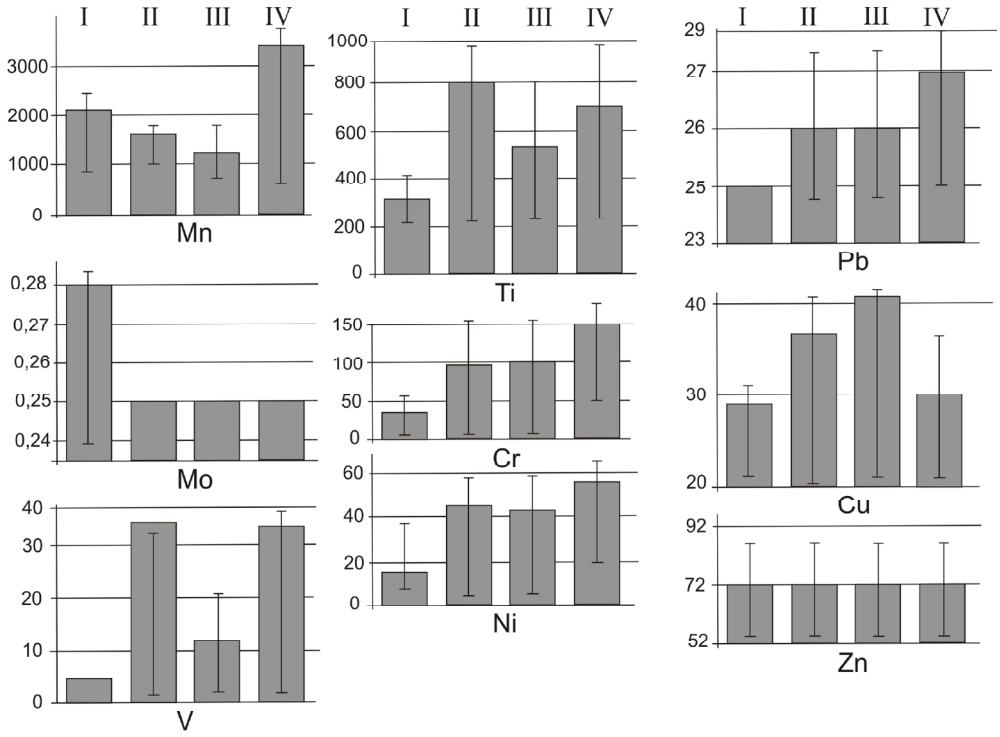


Рис. 5. Средние значения содержания элементов примесей в шлаках городища Кобылиха по горизонтам I, II, III, IV (г/т)

Fig. 5. Average values of the content of impurity elements in the slags of the settlement of Kobylikha on horizons I, II, III, IV (g/t)

ского региона на основе эффективного прогноза, геологического моделирования, геолого-экономической оценки ресурсного потенциала и новых технологий переработки полезных ископаемых».

Литература

1. *Барышев И. Б., Боярский П. В.* Разведка в районе Пустозерского городища (озеро Городецкое) Ненецкого автономного округа Архангельской области // Археологические открытия 2001. М.: ИА РАН, 2002. С. 10.

2. *Барышев И. Б.* Средневековое городище Кобылиха на нижней Печоре // Материалы по истории и археологии России. Т.1. Рязань: Александрия, 2010. С. 216—230.

3. *Бирюков А. В., Завьялов В. И., Савельева Э. А.* Технология кузнечного производства перми вычегодской // Российская археология. 2009. № 3. С. 42—49.

4. *Водясов Е. В., Гусев А. В.* Древнейшие свидетельства освоения человеком железа в нижнем Приобье (по материалам раскопок Усть-Полуя в 2010—2012 гг.) // Вестник археологии, антропологии и этнографии. 2016. № 4 (35). С. 58—68.

5. *Водясов Е. В., Зайцева О. В.* Что может рассказать археологу железный шлак? // Вестник Томского государственного университета. История. 2017. № 47. С. 107—115.

6. *Григорьев С. А.* Металлургическое производство в Северной Евразии в эпоху бронзы. Челябинск: Цицеро, 2013. 660 с.

7. *Григорьев С. А.* Шлаки раннего железного века Башкирского Приуралья // Уфимский археологический вестник. Вып. 16. 2016. С. 72—87.

8. *Завьялов В. И., Розанова Л. С., Терехова Н. Н.* История кузнечного ремесла финно-угорских народов Поволжья и Предуралья: к проблеме этнокультурных взаимодействий. Москва: Знак, 2009. 262 с.

9. *Канивец В. И.* Первые результаты раскопок в Уньинской пещере // Материалы по археологии Европейского Северо-Востока. Сыктывкар, 1962. Вып. I. С. 103—144.

10. *Канивец В. И.* Канинская пещера. М.: Наука, 1964. 135 с.

11. *Кудрин В. А.* Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. М.: Мир, Издательство АСТ, 2003. 528 с.

12. *Малышева Т. Я., Павлов Р. М.* Влияние минералогического состава связок на прочностные свойства агломератов различной основности // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2012. № 11. С. 6—10.

13. *Мурыгин А. М.* Керамическое производство населения Циркумполярной области Северного Приуралья эпохи железа — традиции и новации // Археология Арктики: I Международная конференция. Тезисы докладов, Екатеринбург, 2017. С. 136—137.

14. *Санакулов К. С., Хасанов А. С.* Переработка шлаков медного производства. Ташкент: ФАН, 2007. 256 с.

15. *Черных Е. Н., Кузьминых С. В.* Древняя металлургия Северной Евразии (сейминско-турбинский феномен). М.: Наука, 1989. 320 с.

References

1. Baryshev I. B., Boyarskij P. V. *Razvedka v rajone Pustozerskogo gorodishcha (ozero Gorodeckoe) Neneckogo avtonomnogo okruga Arhangel'skoj oblasti* (Exploration in the area of the Pustozersk settlement (Gorodetsky Lake) of the Nenets Autonomous District of the Arkhangelsk Region). Arheologicheskie otkrytiya 2001, Moscow: IA RAS, 2002, p. 10.

2. Baryshev I. B. *Srednevekovoe gorodishche Kobyliha na nizhnej Pechore.* (The medieval settlement of Kobylikha on the lower Pechora). *Materialy po istorii i arheologii Rossii* (Materials on history of Russian archeology). V.1, Ryazan: Aleksandriya, 2010, pp. 216—230.

3. Biryukov A. V., Zav'yalov V. I., Savel'eva E. A. *Tekhnologiya kuznechnogo proizvodstva permi vychegodskoj* (The technology of forging production of Perm Vychegodskaya). Russian archeology, 2009, No. 3, pp. 42—49.

4. Vodyasov E. V., Gusev A. V. *Drevnejshie svidetel'stva osvoeniya chelovekom zheleza v nizhnem Priob'e (po materialam raskopok Ust'-Poluya v 2010—2012 gg.)* (The oldest evidence of human development of iron in the lower Ob region). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii,* 2016 No. 4 (35), pp. 58—68.

5. Vodyasov E. V., Zajceva O. V. *Chto mozhet rasskazat' arheologu zheleznyj shlak?* (What can iron slag tell an archaeologist?). Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Istoriya, 2017, No. 47, pp. 107—115.

6. Grigor'ev S. A. *Metallurgicheskoe proizvodstvo v Severnoj Evrazii v epohu bronzy* (Metallurgical production in Northern Eurasia in the Bronze Age.). Chelyabinsk: Cicero, 2013, 660 p.

7. Grigor'ev S. A. *Shlaki rannego zheleznogo veka Bashkirskogo Priuralya* (Slags of the early Iron Age of the Bashkir Urals). Ufimskij *arheologicheskij vestnik* (Ufa archeological bulletin), V. 16, 2016, pp. 72—87.

8. Zav'yalov V. I., Rozanova L. S., Terekhova N. N. *Istoriya kuznechnogo remesla finno-ugorskih narodov Povolzh'ya i Predural'ya: k probleme etnokul'turnyh vzaimodejstvij* (The history of the blacksmithing craft of the Finno-Ugric peoples of the Volga region and the Urals: on the problem of ethno-cultural interactions). Moscow: Znak, 2009, 262 p.

9. Kanivec V. I. *Pervye rezul'taty raskopok v Un'inskoj peshchere* (The first results of excavations in the Unin cave). *Materialy po arheologii Evropejskogo Severo-Vostoka* (Materials on archeology of European North-East). Syktyvkar, 1962, V. I, pp. 103—144.

10. Kanivec V. I. *Kaninskaya peshchera* (The Kaninsky Cave). Moscow: Nauka, 1964, 135 p.

11. Kudrin V. A. *Teoriya i tekhnologiya proizvodstva stali: Uchebnik dlya vuzov* (Theory and technology of steel production). Moscow: Mir, Izdatelstvo ACT, 2003, 528 p.

12. Malysheva T. Ya., Pavlov R. M. *Vliyanie mineralogicheskogo sostava svyazok na prochnostnye svojstva aglomeratov razlichnoj osnovnosti* (The influence of the mineralogical composition of bundles on the strength properties of agglomerates of different basicity). *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Chernaya metallurgiya.* Moscow, 2012, No. 11, pp. 6—10.

13. Murygin A. M. *Keramicheskoe proizvodstvo naseleniya Cirkumpolyarnoj oblasti Severnogo Priural'ya epohi zheleza-tradicii i novacii* (Ceramic production of the population of the Circumpolar region of the Northern Urals of the Iron Age — traditions and innovations). I international conference «Arctic Archeology»: abstracts (19—22 November, Salekhard). Ekaterinburg, 2017, pp. 136—137.

14. Sanakulov K. S., Hasanov A. S. *Pererabotka shlakov mednogo proizvodstva* (Processing of copper production slags). Tashkent: FAN, 2007, 256 p.

15. Chernyh E. N., Kuz'minyh S. V. *Drevnyaya metallurgiya Severnoj Evrazii* (sejminsko-turbinskij fenomen) (Ancient metallurgy of Northern Eurasia). Moscow: Nauka, 1989, 320 p.

Received / Поступила в редакцию 31.01.2022

Рентгенограф глин • Radiographer of clays

К 90-летию со дня рождения В. В. Хлыбова • To mark V. V. Khlybov's 90th Anniversary (1932—2008)

March 20, 2022, marks the 90th anniversary of the birth of Vladimir Vasilyevich Khlybov, a well-known specialist in the field of X-ray studies of mineral raw materials, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences. Vladimir Vasilyevich was one of those who organized X-ray diffraction studies at the Institute of Geology. He was engaged in the study of clay minerals characterized by fine dispersion, various structures, and a variable composition. Vladimir Vasilyevich was the author of more than 70 scientific publications, including the monographs "Clay minerals of the Triassic deposits in the North-East of the European Part of the USSR" and "Clays, clay minerals of the southern region of the Komi Republic and their importance". He was awarded the honorary title "Honored Worker of the National Economy of the Komi Republic" and the medal "Veteran of Labour".



20 марта 2022 года исполнилось 90 лет со дня рождения Владимира Васильевича Хлыбова — известного специалиста в области рентгеновских исследований минерального сырья, кандидата геолого-минералогических наук.

Владимир Васильевич был одним из тех, кто организовал рентгеноструктурные исследования в Институте геологии. Он занимался исследованием глинистых минералов, характеризующихся тонкой дисперсностью, разнообразием структур, переменным составом.

В. В. Хлыбов обосновал важность рентгеноструктурных методов при изучении глинистых минералов в литологически однородных триасовых отложениях Предуралья, Печорской синеклизы и Западного Притиманья. На основании выявленных типоморфных особенностей глинистых минералов, закономерностей их распространения в разрезе и по площади им предложены минералогические критерии расчленения и корреляции триасовых отложений, способствовавшие значительному развитию геологических знаний в области литологии и стратиграфии мезозойских отложений Республики Коми. Впервые в осадочных породах (ископаемой почве) отдельных стратонов на территории Российской Федерации Владимиром Васильевичем был открыт диоктаэдрический хлорит, что позволяет использовать данный минерал в качестве надежного стратиграфического и корреляционного репера этих отложений. Результатом работ стала кандидатская диссертация «Глинистые минералы триасовых отложений северо-востока европейской части СССР», защищенная В. В. Хлыбовым в Казанском государственном университете в 1982 г.

Последующие исследования были посвящены проблеме расширения минерально-сырьевой базы для ряда промышленных отраслей Республики Коми. Ученым установлено, что в некоторых нижнетриасовых глинах содержание монтмориллонита составляет более 60 %, что позволяет отнести эти разновидности по минеральному составу к бентонитам. По результатам лабораторных испытаний показана принципиальная возможность использования таких глин для изготовления бентопорошков, керамзитового гравия и кирпича.

Изучение минералогии каолинов раннекаменноугольного возраста (визе) Пузлинского и Лоимского месторождений позволило установить возможность использования каолинов в производстве не только огнеупоров различных марок, но и различных керамических изделий — санитарного фаянса, полуфарфора, напольной и облицовочной плитки, а также в качестве наполнителя (белого пигмента) в бумажной отрасли. Работы Владимира Васильевича в данном направлении позволили значительно увеличить ресурсный потенциал юга Республики Коми.

По результатам многолетних исследований легкоплавких глин В. В. Хлыбовым разработаны и предложены минералогические критерии прогнозирования качества кирпичного и керамзитового сырья. Показано, что оптимальным сырьем для изготовления керамзита являются полиминеральные глины с преимущественной концентрацией в породе нонтронита или монтмориллонита, приблизительно в равном количественном соотношении с каолинитом и незначительной примесью других глинистых минералов и смешанослойных образований. Установлена возможность повышения качества кирпича и керамзита путем введения в сырье правильно подобранных отощающих или иных добавок. На основе типоморфных особенностей глинистых минералов предложена новая теория образования пористой структуры керамзита, получившая экспериментальное подтверждение.

Результаты исследований Владимира Васильевича Хлыбова нашли отражение более чем в 70 научных публикациях и обобщены в монографиях «Глинистые минералы триасовых отложений северо-востока европейской части СССР» (1989) и «Глины, глинистые минералы южного региона Республики Коми и их прикладное значение» (2003). Он удостоен почетного звания «Заслуженный деятель народного хозяйства Республики Коми» и награжден медалью «Ветеран труда».

К. г.-м. н. Д. Шушков

Яков Эльевич Юдович • Yakov Elievich Yudovich

К 85-летию со дня рождения • To mark the 85th Anniversary

Chief Researcher of the Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Honored Worker of the Komi Republic, Honored Scientist of the Russian Federation, Yakov Elievich Yudovich celebrated his 85th Anniversary on March 6, 2022. He is an outstanding representative of Russian science, whose works in the field of geochemistry of black shales and fossil coals have already become classics, and lithochemistry – a new direction in the geochemistry of rock-forming components of sedimentary rocks. In the last decade and a half, such fundamental monographs as "Minerals-indicators of lithogenesis", "Geochemistry of lithogenesis", "Geochemistry of manganese", "Geochemistry of phosphorus" and others were penned by him. Ya. E. Yudovich takes an active part in public life. He was elected a People's Deputy of the Supreme Council of the Komi Republic (1991–1995). For successful scientific and social work, he was awarded the Certificates of Honor of the Presidium of the Supreme Soviet of the Komi ASSR and the Presidium of the Academy of Sciences of the USSR, the medal "Veteran of Labour". He was awarded the titles of Honored Worker of the Komi Republic (1997), Honored Worker of Science of the Russian Federation (2003) and Honored Worker of Science of the Komi Republic (2012). For a series of works on Geochemistry and Geochemical ecology of fossil coals, Ya. E. Yudovich was awarded the A. P. Vinogradov (2011) and L. D. Shevyakov (2015) prizes. In 2018 he was awarded the Order of Friendship.



Главному научному сотруднику лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций, доктору геолого-минералогических наук, заслуженному работнику Республики Коми, заслуженному деятелю науки РФ Якову Эльевичу Юдовичу 6 марта 2022 г. исполнилось 85 лет.

Яков Эльевич родился в Москве. В 1959 г. с отличием окончил геологический факультет Московского государственного университета по специальности «Геохимия». С 1959 по 1964 г. работал инженером-химиком, геологом, старшим геологом в Якутском и Северо-Западном геологических управлениях. В 1965–1966 гг. учился в аспирантуре Всесоюзного научно-исследовательского геологического института (ВСЕГЕИ). В 1967 г. там же защитил кандидатскую диссертацию на тему «Геохимия угольных пластов и угольных включений в Приякутском районе Ленского угленосного бассейна». С 1967 г. работает в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (младший научный сотрудник, старший, ведущий, главный научный сотрудник). В 1984 г. в Институте геохимии и аналитической химии АН СССР (ГЕОХИ) защитил докторскую диссертацию на тему «Региональная геохимия осадочных пород».



Чествование юбиляра

Anniversary celebration

Яков Эльевич Юдович – выдающийся представитель отечественной геохимии осадочных пород, занимающий свое достойное место в ряду корифеев этой сложной, но увлекательной науки. Из-под его пера вышло в свет более 400 научных трудов, в том числе более 90 монографий, учебных пособий и других отдельных изданий.

Я. Э. Юдович – лидер в области геохимии металлоносных черных сланцев и геохимии ископаемых углей. Его фундаментальные монографии в этой области содержат всесторонний анализ генетических проблем и указывают перспективные направления прогноза рудных месторождений в черносланцевых толщах. Серия книг (а также ряд крупных англоязычных статей) Я. Э. Юдовича по неорганическому веществу углей, а также по экологической геохимии углей представляет собой первое и не имеющее аналога в отечественной и мировой геохимической литературе систематическое изложение всего комплекса проблем, касающихся содержания, распределения, минерального и химического состава неорганического вещества углей.

Кроме того, Яков Эльевич является основоположником геохимии породообразующих компонентов осадочных пород – литохимии, в рамках которой он разработал оригинальную химическую классификацию осадочных пород, методы диагностики вулканогенной и элювиально-гидролизатной примеси в породах и реконструкции субстрата метаморфитов. Эти работы получили высокую оценку научной общественности. Следующей ступенью научного труда стало создание базы данных по минералам-индикаторам и геохимическим индикаторам литогенеза, обобщающие огромный массив информации в области генетической ми-

нералогии и литологической геохимии. За последнее десятилетие юбиляром изданы крупные обобщения по геохимии марганца, титана и фосфора, ставшие «нитью Ариадны» в бескрайнем море геохимической литературы.



Многолетние полевые исследования Я. Э. Юдовича принесли не только научные результаты; им лично или совместно с другими геологами были сделаны находки каменноугольных бурых железняков, ордовикских оолитовых шамозитовых руд, силурийских фосфоритов, девонских и каменноугольных марганцевых руд, самородного золота, полиметаллов.



Обсуждение острых геохимических проблем

Discussing geochemical problems

Яков Эльевич Юдович принимает активное участие в общественной жизни. Он избирался народным депутатом Верховного Совета Коми Республики (1991—1995 гг.). За успешную научную и общественную работу награжден Почетными грамотами Президиума Верховного Совета Коми АССР и Президиума АН СССР, медалью «Ветеран труда». Ему присвоены звания «Заслуженный работник Республики Коми» (1997 г.), «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (2003 г.) и Почетный деятель науки Республики Коми (2012). За цикл работ по геохимии и геохимической экологии ископаемых углей Я. Э. Юдович удостоен премий имени А. П. Виноградова (2011 г.) и Л. Д. Шевякова (2015). В 2018 г. он награжден Орденом Дружбы.

Кандидаты геол.-мин. наук
И. Козырева, Е. Пономаренко

Редакторы издательства:
О. В. Габова, Г. Н. Каблис, К. В. Ордин

Компьютерная верстка
Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 29.04.2022. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1181. 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
На обложке использованы фото А. Антошкиной, К. Попвасева, И. Астаховой, А. Журавлева, Н. Воробьева