



*Vestnik of Geosciences*  
**Вестник геонаук**

Май  
May  
2024,  
№ 5 (353)

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

**Главный редактор** *А. М. Асхабов*

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

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

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

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

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

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

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

**Редакционный совет**

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

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

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

**Editorial Board**

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

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

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

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

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

**Предыдущее название:**

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор  
РИНЦ журнала (2022) – 0.388



**SCIENTIFIC JOURNAL**

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

**Former title:**

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI  
impact factor (2022) – 0.388

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

Литолого-фациальное строение и история развития пласта Б5 Даниловского лицензионного участка (венд-кембрий, Восточная Сибирь) <i>К. Н. Чертина, Е. Н. Максимова, А. В. Ульянова, Н. Н. Аржиловская, О. В. Неделько</i> .....3	Lithological-facies structure and history of the development of B5 formation of the Danilovsky license area (Vendian-Cambrian, Eastern Siberia) <i>K. N. Chertina, E. N. Maksimova, A. V. Ulyanova, N. N. Arzhilovskaya, O. V. Nedelko</i> .....3
К оценке геодинамической устойчивости геосфер Земли <i>А. В. Кокин, А. А. Кокин</i> ..... 16	Assessment of geodynamic stability of the Earth's geospheres <i>M. A. Munduzova</i> ..... 16
Мел-палеогеновые ископаемые смолы арктической части Дании (о. Гренландия) <i>О. В. Мартиросян</i> .....29	Cretaceous-palaeogene fossil resins of the arctic part of Denmark (Greenland Island) <i>O. V. Martirosyan</i> ..... 29
Кварц-кианит-мусковитовый магматический слюдит Борисовских сопок на Южном Урале <i>В. А. Попов, С. В. Колисниченко, И. А. Блинов</i> ..... 36	Quartz-kyanite-muscovite magmatic mica in Borisovian dikes in the Southern Urals <i>V. A. Popov, S. V. Kolisnichenko, I. A. Blinov</i> ..... 36

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

Решение XVIII Геологического съезда Республики Коми.....40	Decision of the 18 <sup>th</sup> Geological Congress of the Komi Republic ..... 40
XVI Российский семинар «Технологическая минералогия: комплексная оценка нетрадиционных видов минерального сырья и их рациональное использование» .....45	The 16 <sup>th</sup> Russian seminar "Technological mineralogy: comprehensive assessment of non-conventional types of mineral raw materials and their rational use"..... 45
Тишина вечности. Пленэр художников России на Приполярном Урале .....46	Silence of eternity. The Russian painting plein air at the Subpolar Urals ..... 46

Правила  
оформления  
статей



Vestnik  
article  
Formatting



## Литолого-фациальное строение и история развития пласта Б5 Даниловского лицензионного участка (венд-кембрий, Восточная Сибирь)

К. Н. Чертина, Е. Н. Максимова, А. В. Ульянова, Н. Н. Аржиловская, О. В. Неделько

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, [tnnc@rosneft.ru](mailto:tnnc@rosneft.ru)

В 2004 году поисково-разведочным бурением на территории центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции Восточной Сибири на Даниловском лицензионном участке доказана нефтеносность и перспективность древнейших карбонатных отложений венд-кембрийского времени. Вскрытый карбонатный комплекс отличается сложным строением и сильной изменчивостью структурно-текстурных особенностей в разрезе и по латерали. Проведённый полный цикл литологических исследований, включающий описание петрографических шлифов в комплексе с рентгеноструктурным анализом, и фациальный анализ литологических типов пород позволили рассмотреть природу отложений продуктивного пласта Б5 даниловского горизонта. В разрезе пласта зафиксированы цианобактериальные сообщества в прижизненном положении, подтверждающие органогенную каркасную природу изучаемых отложений. Зафиксированы септальные, камерные и сгустковые формы сообществ. Результаты генетического анализа геолого-геофизических данных легли в основу детальной литолого-седиментологической характеристики разреза, что позволило воссоздать историю развития и сформировать седиментационную модель пласта. Данные послужили основой для петрофизической модели пласта, планирования поисково-разведочного бурения и внедрения оптимальной системы разработки.

**Ключевые слова:** Непско-Ботуобинская антеклиза, тэтэрская свита, доломиты, концептуальная модель

## Lithological-facies structure and history of the development of B5 formation of the Danilovsky license area (Vendian-Cambrian, Eastern Siberia)

K. N. Chertina, E. N. Maksimova, A. V. Ulyanova, N. N. Arzhilovskaya, O. V. Nedelko

Tyumen Oil Research Center, Tyumen

In 2004, exploration drilling in the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline of the Leno-Tunguska oil and gas province of Eastern Siberia at the Danilovsky license area proved the oil content and prospects of the oldest carbonate deposits of the Vendian-Cambrian period. The drilled carbonate complex is characterized by a complex structure and strong variability of structural and textural features in section and laterally. A full cycle of lithological studies, including a description of petrographic sections in combination with X-ray diffraction analysis, and facies analysis of lithological rock types allowed considering the nature of deposits of the productive formation B5 of the Danilovsky horizon. Cyanobacterial communities in the lifetime position were recorded in the section of the formation, confirming the organogenic skeleton nature of the studied deposits. Septal, chamber and clot forms of communities have been recorded. The results of the genetic analysis of geological and geophysical data formed the basis for a detailed lithological and sedimentological characteristic of the section, which allowed recreating the history of development and forming a sedimentation model of the formation. These studies laid in the basis for the petrophysical model of the formation, the planning of exploratory drilling and the introduction of an optimal development system.

**Keywords:** Nepsa-Botuobinskaya antecline, Teter formation, dolomites, conceptual model

### Введение

Поисково-разведочное бурение на территории Восточной Сибири в пределах Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области на Даниловском лицензионном участке обеспечивает доступ к древнейшим отложениям венд-кембрийского времени, содержащим коммерческие запасы углеводородов.

Инициирование работ по седиментологическому изучению пласта Б5 на Даниловском лицензионном участке (ЛУ) связаны с необходимостью изучения его строения и выбора оптимальной системы разработки.

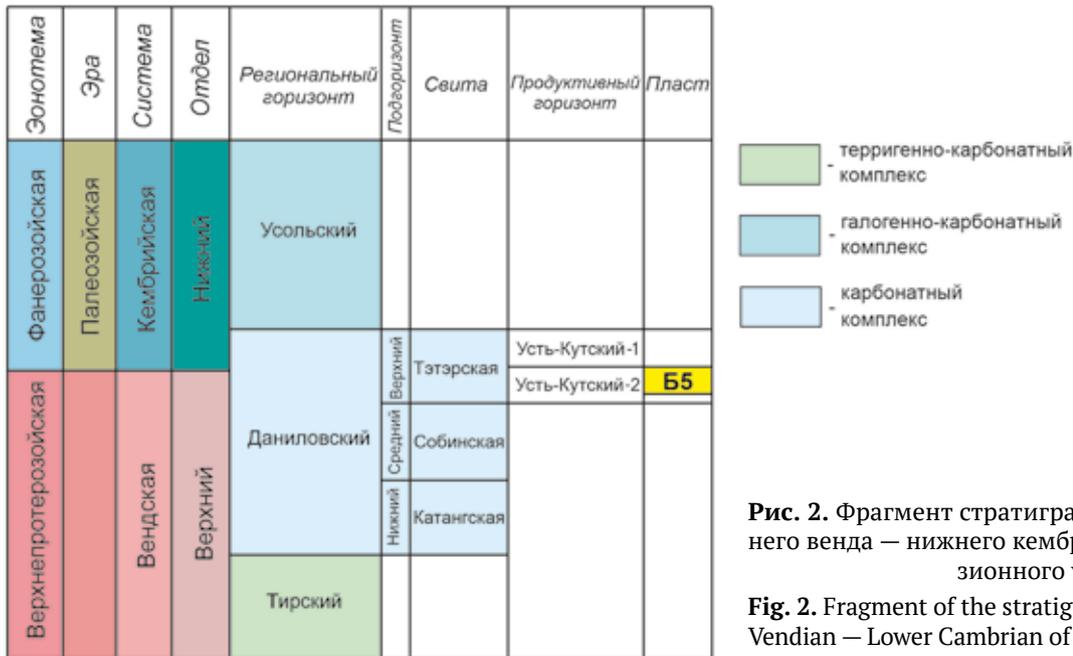
На базе Центра исследований ядра ООО «ТННЦ» проанализирован ядровый материал и построены седиментологические колонки с восстановлением этапов формирования пласта, что позволило получить новую информацию и сделать выводы о природе слагающих его отложений.

До настоящего времени специалистами высказывались предположения о зернистой природе пласта Б5, включающего пизолит-оолитовые грейнстоуны (Еганова, Маринов, 2018; Лемешко, 2018; Вараксина, Хабаров, 2013).

**Для цитирования:** Чертина К. Н., Максимова Е. Н., Ульянова А. В., Аржиловская Н. Н., Неделько О. В. Литолого-фациальное строение и история развития пласта Б5 Даниловского лицензионного участка (венд-кембрий, Восточная Сибирь) // Вестник геонаук. 2024. 5 (353). С. 3–15. DOI: 10.19110/geov.2024.5.1

**For citation:** Chertina K. N., Maksimova E. N., Arzhilovskaya N. N., Nedelko O. V., Ulyanova A. V. Lithological-facies structure and history of the development of B5 formation of the Danilovsky license area (Vendian-Cambrian, Eastern Siberia). Vestnik of Geosciences, 2024, 5 (353), pp. 3–15, doi: 10.19110/geov.2024.5.1





**Рис. 2.** Фрагмент стратиграфической колонки верхнего венда — нижнего кембрия Даниловского лицензионного участка

**Fig. 2.** Fragment of the stratigraphic column of the Upper Vendian — Lower Cambrian of the Danilovsky license area

В соответствии с ныне действующей стратиграфической схемой (Мельников, 2017) усольский горизонт нижнего кембрия подстилается отложениями даниловского горизонта, относящегося к венд-кембрийской нерасчлененной толще. В объеме даниловского горизонта выделены катангская, собинская и тэтэрская свиты. В пределах тэтэрской свиты, относящейся к секвенции III порядка, выделяется усть-кутский продуктивный горизонт (Вараксина, Хабаров, 2015). Горизонт делится на два нефтегазоносных пласта, разделенных глинистой пачкой. Нижний усть-кутский 2-й подгоризонт соответствует пласту Б5, который представляет собой мелющий кверху элементарный циклит и продуктивность которого связана с карбонатными породами (рис. 2, 4).

В позднем венде территория Сибирской платформы и сопредельные с ней районы составляли единый бассейн осадконакопления. В это время формировалась сульфатно-доломитовая толща, выделяемая в собинскую свиту. В позднеданиловское время повышение относительного уровня моря обусловило снижение солености и накопление доломитов тэтэрской свиты. Таким образом, на мелководном шельфе с плоскими низкими островами, занимающими центральную и западную части Сибирской платформы, произошло накопление карбонатных и сульфатных осадков, являющихся литологически экранированными ловушками (Мельников, 2017).

### Материалы и методы

Материалом для исследования послужил керн Даниловского ЛУ из 9 скважин с суммарным выносом 240 м. Во всех скважинах проведен полный цикл литологических исследований, включающий в том числе описание петрографических шлифов большого и стандартного размера (247 шлифов) в комплексе с рентгеноструктурным анализом (247 проб).

В воде седиментологического анализа по керновому материалу определялась структура (по Данхэму, модифицированная Эмбри и Клованом в 1971 г. (Flügel,

2010)) и текстура породы, диагностировались формы роста микробных образований, типы цементов, слоевые контакты, структура пустотного пространства и интенсивность проявления вторичных преобразований. Минералогические и морфологические особенности пород уточнялись с помощью рентгеноструктурного и петрографического анализов.

Рентгеноструктурный анализ выполнялся на образцах керна, отобранных в комплексе с петрографическими шлифами. Куски предварительно дробились и экстрагировались, затем измельчались в шаровой мельнице до размера 0.02 мкм. Съемка проводилась на рентгеновском дифрактометре «Дрон-8».

В интервалах с органогенными каркасными структурами и каверново-поровым типом коллектора исследования проводились в шлифах большого размера (40 × 50 мм), уточнялись морфологические особенности каркасообразующих организмов и пустотное пространство. Для петрографического описания использовался поляризационный микроскоп Axio Imager компании Zeiss.

Все исследования выполнялись на базе Центра исследований керна ООО «Тюменский нефтяной научный центр».

### Литологическая характеристика пласта Б5

Пласт Б5 мощностью от 25 до 30 м сложен коричнево-серыми вторичными доломитами, неравномерно битумонефтенасыщенными, преимущественно с органогенными микробными структурами (бафлстоун и баундстоун); тип межскелетного заполнения изменяется послойно от микритового до зернистого. Реже встречаются прослои доломитов с разнотекстурной структурой (от пакстоуна до рудстоуна). Доломит является основным породообразующим минералом пласта Б5, по данным рентгеноструктурного анализа его содержание достигает 99 %. Петрографически установлено, что кристаллы доломита ксеноморфной и гипидиоморфной формы, реже идиоморфной. Ксеноморфные кристаллы имеют непра-

вильные лапчатые и изогнутые формы. Для идиоморфных кристаллов свойственны хорошо выраженные кристаллографические грани. Однако увеличение количества и размера идиоморфных кристаллов ведет к смыканию их граней и перекрытию поровых каналов. Таким образом, отмечаются образцы с несохранившимися первичными структурами, полностью перекристаллизованные, с плотной упаковкой кристаллов.

Первичное осадочное строение выделяется по теневым структурам. Осадочные зерна представлены биокластами, пелоидами и литокластами размером от 0.3 до 3.0 мм. Породы с биогенной массивной текстурой (рис. 3, i, l), в зернистых прослоях с пологонаклонной косой и пологоволнистой слоистостью, подчеркнутой однонаправленной ориентировкой зерен и прожилками уплотнения (рис. 3, o). Мощность прослоев с зернистыми структурами и образованны-

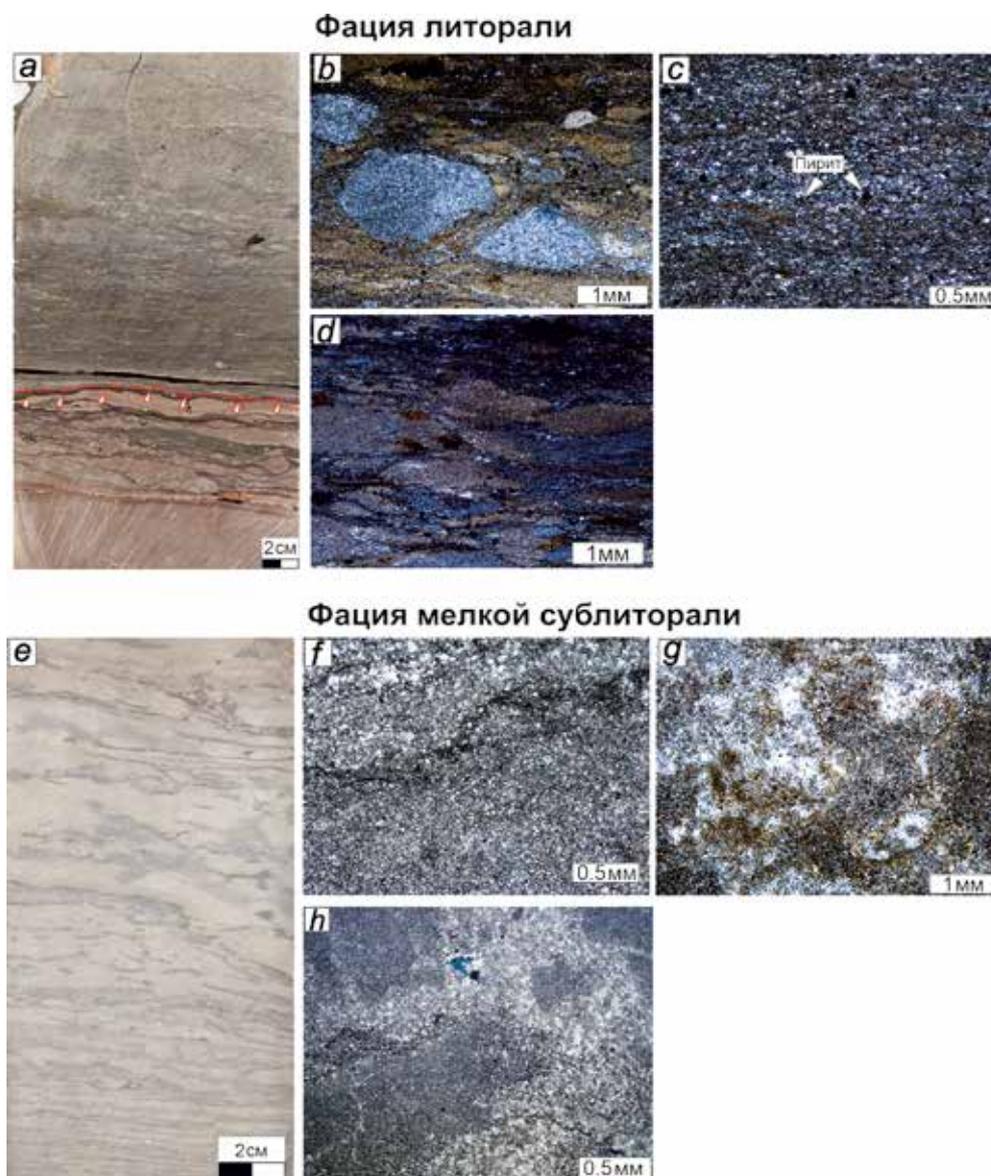


Рис. 3. Структурно-текстурные особенности фаций и субфаций пласта Б5

*Фашия литорали.* Фото керна: а) нижняя граница парасеквенции — контакт слабосульфатизированных доломитов и доломитов глинистых. Фото шлифов: б) доломит глинистый с карбонатными и глинистыми гальками, фиксирующими трансгрессивную поверхность; в) доломит микрокристаллический глинистый; д) доломит глинистый литокластовый с частыми глинистыми прожилками. *Фашия мелкой сублиторали.* Фото керна: е) доломит микрокристаллический со структурой мадстоун. Фото шлифов: ф) доломит тонкомикрокристаллический со структурой мадстоун с глинистыми прожилками; г) доломит микро-тонкокристаллический сульфатизированный со структурой мадстоун; h) доломит тонкомикрокристаллический со структурой мадстоун со стилолитами

Fig. 3. Structural and textural features of facies and subfacies of B5 formation

*Littoral facies.* Core photo: a) the lower boundary of the parasequence is the contact of weakly sulfated dolomites and clay dolomites; Photo of grinds: b) clay dolomite with carbonate and clay pebbles fixing the transgressive surface; c) microcrystalline clay dolomite; d) lithoclastic clay dolomite with frequent clay veins. *Shallow sublittoral facies.* Core photo: e) microcrystalline dolomite with a mudstone structure. Photo of the grinds: f) thin-microcrystalline dolomite with a mudstone structure with clay veins; g) micro-fine-crystalline sulfated dolomite with a mudstone structure; h) thin-microcrystalline dolomite with a mudstone structure with stylolites

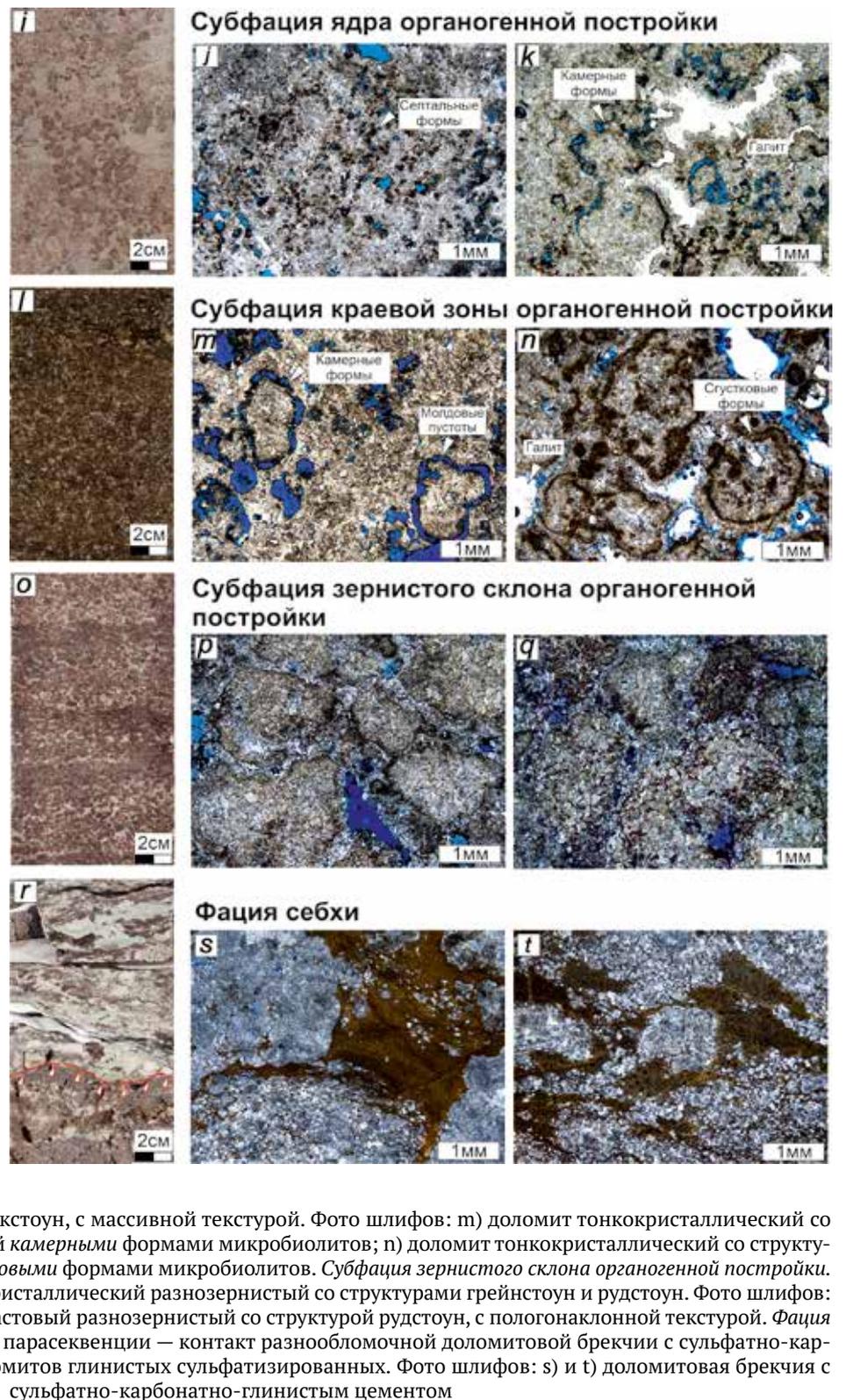


Рис. 3. Продолжение

*Субфация ядра органогенной постройки.* Фото керн: i) доломит микротонкокристаллический с микробиальной структурой баундстоун, с микритовым межскелетным заполнением вакстоун, с массивной текстурой. Фото шлифов: j) доломит микротонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный септальными формами микробиолитов; k) доломит микротонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный камерными формами микробиолитов. *Субфация краевой зоны органогенной постройки.* Фото керн: l) доломит тонкокристаллический с микробиальной структурой баундстоун, с зернистым межскелетным заполнением пакстоун, с массивной текстурой. Фото шлифов: m) доломит тонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный камерными формами микробиолитов; n) доломит тонкокристаллический со структурой баундстоун, образованный сгустковыми формами микробиолитов. *Субфация зернистого склона органогенной постройки.* Фото керн: o) доломит тонкомикросталлический разномзернистый со структурами грейнстоун и рудстоун. Фото шлифов: p) и q) доломит литокластово-фитокластовый разномзернистый со структурой рудстоун, с пологонаклонной текстурой. *Фация себхи.* Фото керн: r) верхняя граница парасеквенции — контакт разнообломочной доломитовой брекчии с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом и доломитов глинистых сульфатизированных. Фото шлифов: s) и t) доломитовая брекчия с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом

Fig. 3. Continued

*Subfacies of the core of organogenic construction.* Core photo: i) micro-fine-crystalline dolomite with microbial structure boundstone with micrite interskeletal filling vacstone, with a massive texture. Photo of grinds: j) micro-fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by septal forms of microbialites; k) micro-fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by chamber forms of microbialites. *Subfacies of the marginal zone of organogenic construction.* Core photo: l) fine-crystalline dolomite with microbial structure boundstone with granular interskeletal filling packstone, with a massive texture; Photo of grinds: m) fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by chamber forms of microbialites; n) fine-crystalline dolomite with a boundstone structure formed by thick-boned forms of microbialites. *Subfacies of the granular slope of an organogenic structure.* Core photo: o) fine-microcrystalline dolomite of different grain with grainstone and rudstone structures. Photo of the grinds: p) and q) dolomite is a lithoclast-phytoclast heterogeneous with a rudstone structure, with a gently sloping texture. *Facies of the seabed.* Photo of the core: r) the upper boundary of the parasequence is the contact of a heterogeneous dolomite breccia with sulfate-carbonate-clay cement and sulfated clay dolomites; Photo of the grinds: s) and t) dolomite breccia with sulfate-carbonate-clay cement

ми прижизненными формами цианобактерий не превышает 6 м.

При описании форменных элементов за основу взята схема Б. Пратта, которая описывает основные компоненты палеозойских и верхнепротерозойских рифов, образованных цианобактериями *Eriphyton* и *Renalcis* (Pratt, 1984). В работе выделены 3 основных морфотипа цианобактерий типа *Renalcis*: септальные (*septate*), камерные (*chambered*) и ступковые (*clotted*).

*Септальные* формы микробиолитов (рис. 3, j) представлены тонкими изогнутыми ветвями равномерного диаметра, с разделенными поперечными перегородками, размером до нескольких миллиметров (1.0–3.0 мм). Они имеют субвертикальную ориентировку роста, пространство между колониями заполнено карбонатным илом (Швецов и др., 2021).

*Камерные* формы микробиолитов (рис. 3, k, m) состоят из ажурных гроздевидных агрегатов с тонкими стенками, сложенными микритом. Агрегаты с расходящимися в сторону ветвями, размером от 0.050 до 0.5 мм. В межскелетном заполнении отмечается как микрит, так и зернистый материал, представленный пелоидами и биокластами (Швецов и др., 2021).

*Ступковые* формы микробиолитов (рис. 3, m) типа *Renalcis* представлены почковидными формами (размером в диаметре 0.5–2.0 мм) с неравномерно разветвляющимися толстыми трубками. Часто внутри почковидных камер образуются пустоты. Колонии имеют субвертикальную ориентировку, плотно прилегают друг другу, практически не образуя межскелетных промежутков. Заполнением может выступать карбонатный зернистый материал (Швецов и др., 2021).

Вторичные преобразования пород пласта Б5 представлены сульфатизацией, галитизацией, выщелачиванием, в меньшей степени окремнением, пиритизацией. Процессы тесно связаны со структурными особенностями пород и интенсивнее протекают на участках, имеющих седиментогенные первичные пустоты.

*Сульфатизация* неравномерно проявляется по разрезу практически во всех изучаемых скважинах, наиболее интенсивно развита в кровле пласта в виде многочисленных гнезд, реже в виде линзовидных включений и прослоев.

*Галитизация* неравномерно развита по площади и разрезу. Фронт галитизации приурочен к западной и восточной частям лицензионного участка, в северном направлении галитизация развита локально. Отмечаются скважины, где галит адаптируется к форме пустот и полностью запечатывает пустотное пространство (рис. 3, k, n).

*Выщелачивание* приводит к образованию дополнительных пустот молдогового типа за счет частичного и полного растворения скелетных остатков. Первичные унаследованные поры и каверны увеличены процессами растворения (рис. 3, m).

*Окремнение* встречается в виде редких микрокристаллических стяжений кварца и халцедона округлой формы.

*Пиритизация*, развитая в виде отдельных глобулей и крупных включений пирита, ассоциируется с глинистым материалом и стилолитовыми швами (рис. 3, c).

*Карстопоявление* выражено в виде каверн различных размеров и зафиксировано во всех скважинах. Заполнение полостей галитовое, реже глинисто-кар-

бонатное и глинисто-карбонатно-сульфатное, с многочисленными обломками коренных пород. Карст развит в основном в кровле пласта, редко в средней его части (рис. 3, s, t).

### Седиментационная модель пласта Б5

При анализе kernового материала в разрезе нижней части тэтэрской свиты интерпретированы следующие фациальные комплексы: литораль, сублитораль и супралитораль (рис. 4). Ряд парагенетических ассоциаций фаций можно увидеть в таблице 1.

Отложения *литорали* представлены глинистыми микрокристаллическими доломитами с тонкой пологоволнистой и линзовидной слоистостью, редкими прослоями литокластового карбонатного материала с примесью терригенного алевритового и песчаного материала. Отложения формировались в условиях изменчивой суточной гидродинамики и солёности с ритмичными проявлениями приливно-отливных процессов (рис. 3, a–d).

Среди сублиторальных образований выделяются органогенные постройки и окружающие их тонкозернистые отложения.

Фация *мелкой сублиторали* представлена серыми микрокристаллическими доломитами с теневой структурой мадстоун, с реликтовыми органогенными структурами, частыми глинистыми прожилками. Породы формировались в нормально-морских условиях со спокойной гидродинамикой (рис. 3, e–h).

Фация *органогенной постройки* на изученном материале характеризуется тремя субфациями: ядром, краевой частью и зернистым склоном.

Субфация *ядра органогенной постройки* сложена доломитами микротонкокристаллическими с микробинальной структурой баундстоун. Характер межскелетного заполнения микритовый (мадстоун и вакстоун). Основные формы каркасостроителей — септальные и камерные. Текстуры преимущественно массивные, с субвертикальной ориентировкой роста колоний. Формирование пород проходило в условиях нормальной солёности, при хорошей освещенности, изменчивой гидродинамики и на небольших глубинах (рис. 3, i–k).

Для пород *краевой зоны органогенной постройки* свойственны ступковые и редкие камерные формы каркасостроителей с обилием зернистого карбонатного материала в межскелетных промежутках, распределенного в виде линз и карманов. Текстуры пород — от массивных до неяснослоистых, часто подчеркнутые стилолитизированными прожилками черного органического и глинистого материала. Отложения формировались в условиях изменчивой гидродинамики, нормальной солёности, хорошей освещенности, на небольших глубинах (рис. 3, l–n).

Субфация *зернистого склона органогенной постройки* представлена тонкомикрокристаллическими разнозернистыми доломитами со структурами грейнстоун и рудстоун. Пологонаклонная косая однонаправленная слоистость подчеркивается ориентировкой зерен — пелоидов, биокластов и литокластов. Зернистый материал формировался в условиях активной гидродинамики выше базиса действия нормальных волн и откладывался на склонах органогенных построек (рис. 3, o–q).

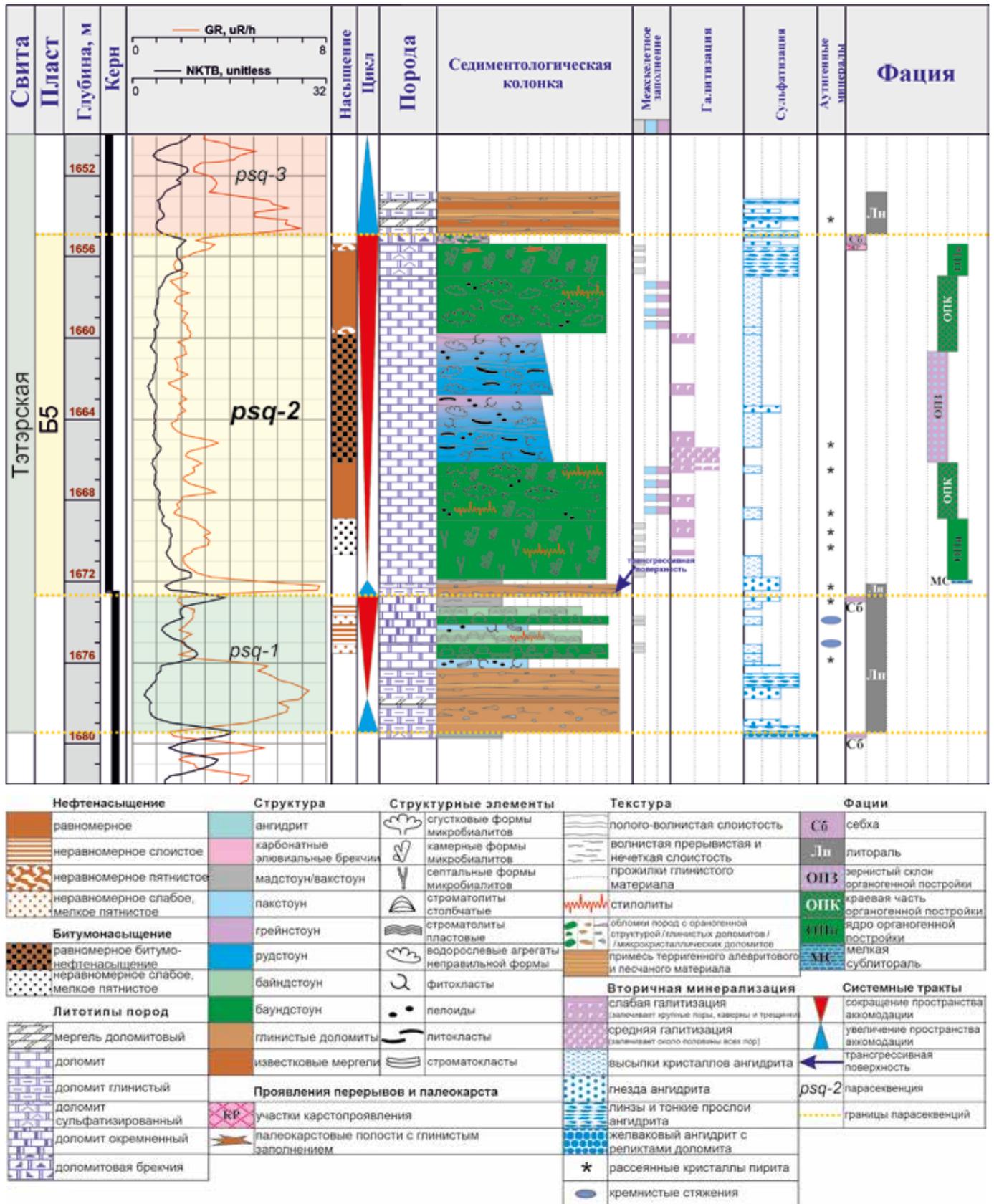


Рис. 4. Типовой седиментологический разрез пласта Б5 тэтэрской свиты венд-кембрийского времени  
 Fig. 4. Typical sedimentological section of B5 formation of the Theter formation of the Vendian-Cambrian time



Таблица 1. Парагенетические ассоциации фаций пласта Б5 даниловского горизонта венд-кембрийского времени

Table 1. Paragenetic associations of facies of B5 formation of the Danilovsky horizon of the Vendian-Cambrian time

Фациальный комплекс The facial complex	Парагенетические ассоциации фаций Paragenetic associations of facies	Литологический тип Lithological type	
Литораль Littoral	фация литорали littoral facies	доломиты глинистые микрокристаллические с литокластовым материалом, с примесью терригенного материала, пологоволнистые и линзовидно-слоистые microcrystalline clay dolomites with lithoclastic material, with an admixture of terrigenous material, gently undulating and lenticular-layered	
Сублитораль Sublittoral	фация мелкой сублиторали small sublittoral facies	доломиты микрокристаллические с теневой структурой мадстоун, с реликтами микробных колоний, с глинистыми прожилками microcrystalline dolomites with a mudstone shadow structure, with relics of microbial colonies, with clay veins	
	Фация органогенной постройки Facies of organogenic construction	субфация ядра органогенной постройки subfacies of the core of an organogenic structure	доломиты со структурой баундстоун микробный (септальные и камерные формы), с межскелетным заполнением мадстоун и вакстоун, массивные boundstone microbial dolomites (septal and chamber forms) with interskeletal filling of mudstone and wackestone, massive
		субфация краевой зоны органогенной постройки subfacies of the marginal zone of organogenic construction	доломиты со структурой баундстоун микробный (сгустковые и камерные формы), с межскелетным заполнением пакстоун-грейнстоун, массивные и неяснослоистые, со стилолитизированными прожилками черного органического и глинистого материала boundstone microbial dolomites (clump and chamber forms) with interuniverse packstone- greinstone filling, massive and indistinctly layered, with stylolithized veins of black organic and clay material
		субфация зернистого склона органогенной постройки subfacies of a granular slope of an organogenic structure	доломиты со структурами грейнстоун и рудстоун, с пологонаклонной однонаправленной слоистостью greinstone and rudstone dolomites with gently inclined unidirectional stratification
Супралитораль Supralittoral	фация себхи sebhi facies	доломитовые брекчии разнообломочные с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом dolomite breccias with sulfate-carbonate-clay cement	

Фациальный комплекс супралиторали выявлен в кровле пласта Б5 и представлен фацией *себхи*, образование пород которой происходит выше уровня нормальных приливов. Ограниченное аккомодационное пространство и тенденция к недостаточной циркуляции воды на мелководье карбонатных платформ в засушливом климате создают идеальные условия для формирования пород себхи. Литологически фация представлена разнообломочными доломитовыми брекчиями с сульфатно-карбонатно-глинистым цементом. Обломочный материал представлен фрагментами доломитов с микробными и микритово-зернистыми структурами. Отложения формировались в периоды низкого стояния уровня моря, на локальных участках субаэральной экспозиции. Здесь поступление осадочного материала отсутствует и происходит выветривание пород (рис. 3, r–t).

Перекрывают продуктивный пласт Б5 отложения

литорали, литологически представленные глинистыми неравномерно сульфатизированными доломитами и доломитовыми мергелями, с горизонтами глинистых литокластов, с включением терригенного материала и тонкой волнистой слоистостью.

Коллекторы связаны с субфациями ядра, краевой зоны и зернистого склона органогенной постройки. Коэффициент пористости пород *ядра органогенной постройки* составляет 4–10 %, коэффициент проницаемости 0.5–300 мД. Коэффициент пористости пород *краевой зоны органогенной постройки* составляет 5–25 %, коэффициент проницаемости — 100–1000 мД. Коэффициент пористости пород *зернистых склонов органогенных построек* составляет 7–25 %, коэффициент проницаемости — 10–1000 мД. Наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами обладают породы субфаций краевой зоны и зернистого склона органогенной постройки.



**Рис. 5.** Седиментационная модель строения мелководно-шельфовых органогенных построек тэтэрской свиты венд-кембрийского времени

**Fig. 5.** Sedimentation model of the structure of shallow-shelf organogenic structures of the Theter formation of the Vendian-Cambrian time

По результатам выполненных фациальных исследований реконструированы условия формирования пласта Б5 и разработана модель мелководно-шельфовых – органогенных построек и их зернистых склонов (рис. 5), образованных в фациальном комплексе мелкой сублиторали. Таким образом, проведенные исследования подтверждают наличие пород не только аллохтонного, но и автохтонного генезиса.

### История формирования пласта Б5

По результатам проведенных фациальных исследований ядра скважин Даниловского ЛУ реконструирована история седиментации пласта Б5 тэтэрской свиты (рис. 6). Исследования позволили детализировать строение фациальных зон.

Исследуемые отложения формировались на древней эпиконтинентальной карбонатной платформе в условиях сублиторали, литорали и супралиторали.

Отложения пласта Б5 представляют собой мелкую кварцевую парасеквенцию (psq-2), являющуюся составной частью секвенции III порядка, слагающей тэтэрскую свиту. В процессе аналитической работы в цикле пласта Б5 выделены нижняя (рис. 3, а) и верхняя (рис. 3, г) границы парасеквенции, прослежены этапы увеличения и сокращения пространства аккомодации. Кровлей и подошвой парасеквенции psq-2 являются поверхности морского затопления.

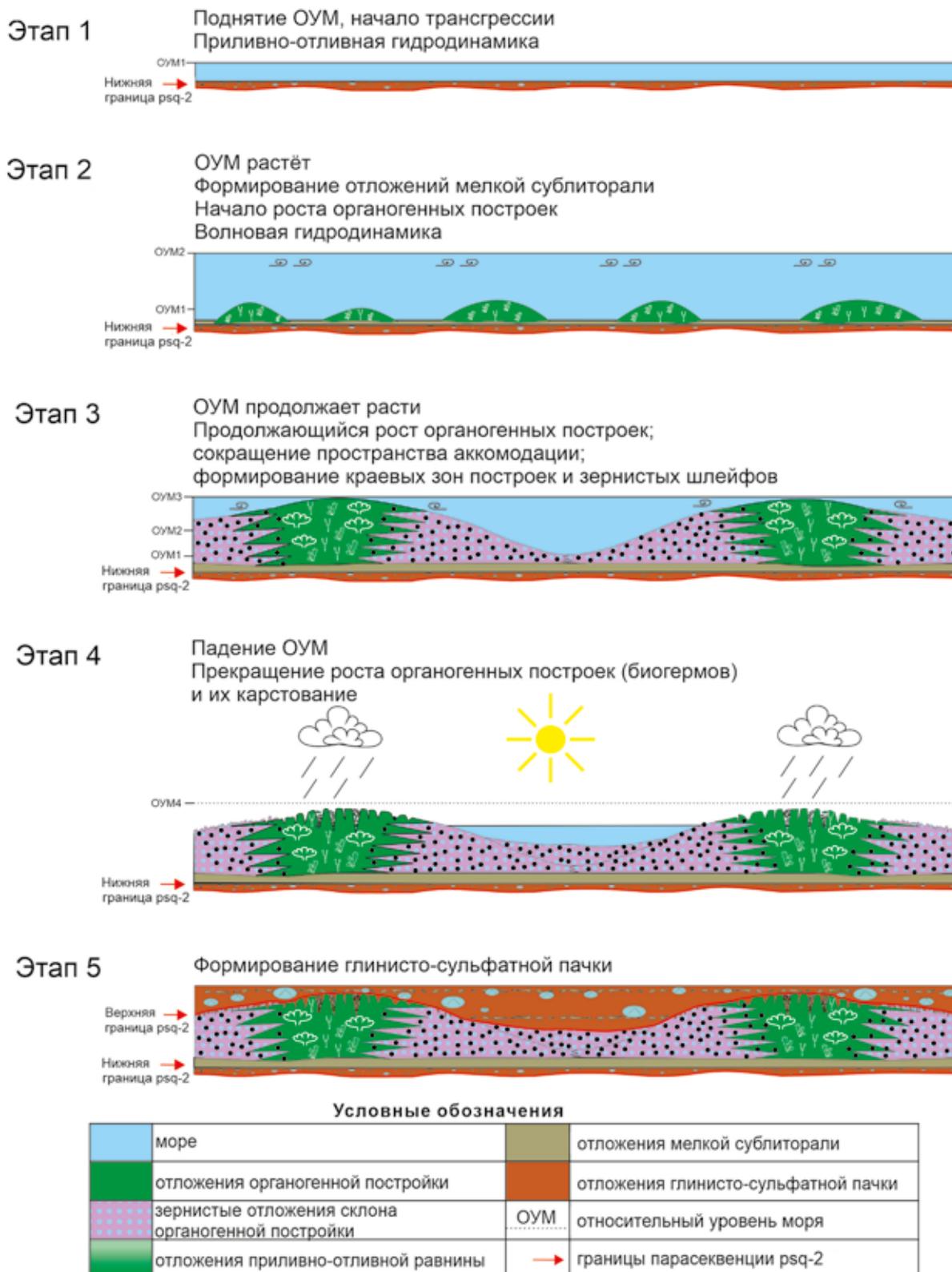
Нижняя граница парасеквенции представляет собой резкий эрозионный контакт сульфатизированных и глинистых доломитов (рис. 3, а). Верхняя граница – резкий эрозионный контакт доломитовой разнообломочной брекчии элювиального горизонта и неравномерно сульфатизированных глинистых доломитов (рис. 3, г).

Начало повышения уровня моря в цикле пласта Б5 фиксируется трансгрессивной поверхностью, представляющей собой прослой с включением окатанных карбонатных галек (рис. 3, б). В условиях влияния приливно-отливной гидродинамики и ограниченного пространства аккомодации формировались отложения литорали (глинистые микрокристаллические доломиты с тонкой пологоволнистой и линзовидной слоистостью). Этап максимального затопления в цикле фиксируется накоплением отложений

мелкой сублиторали в виде микрокристаллических доломитов со структурой мадстоун. Нормальная соленость, хорошая освещенность и достаточный объем пространства аккомодации благоприятствовали росту органогенных построек. Последние в результате быстрого роста догоняют ОУМ и в прикровельных зонах под влиянием активной волновой динамики формируют краевые зоны и зернистые склоны.

При каждом следующем кратковременном повышении ОУМ постройки латерально смещаются (при благоприятных условиях в определенных участках рельефа, сформированного зернистым материалом, начинается рост новых построек). На заключительном этапе седиментации в период падения ОУМ постройки выводятся в зону субаэральной экспозиции, где подвергаются карстованию. На этом этапе формируются доломитовые разнообломочные брекчии элювиального горизонта. Фиксируется верхняя граница парасеквенции и начало нового парасеквенса – psq-3, где образуются неравномерно сульфатизированные глинистые доломиты литорали, являющиеся покровом пласта Б5.

Для полноценной характеристики литолого-фациального строения важно было привести корреляцию разрезов скважин, чтобы было понимание особенностей изменения толщин пласта и закономерностей распространения выделенных литотипов и фаций в разрезе и на площади (рис. 7, 8). Анализ этих закономерностей является неотъемлемой частью седиментологических реконструкций. Приведенные данные свидетельствуют об увеличении мощности пласта Б5 в направлении с северо-востока на юго-запад. Судя по изменениям мощностей пласта и распределению фаций, в разрезе скважин на северо-востоке территории преобладали более мелководные условия шельфа, на завершающей стадии формирования пласта породы в большей степени испытывали периоды длительного осушения. По мере отдаления от северо-восточной части по направлению на юго-запад (скв. D-9 и D-4) и для западной части территории характерно преобладание субфаций ядра, краевой зоны и зернистого склона органогенной постройки. В южной части территории (скв. D-2 и D-5) накапливались отложения субфаций ядра и краевой зоны органогенной постройки.



**Рис. 6.** Этапы формирования пласта Б5 тэтэрской свиты венд-кембрийского времени  
**Fig. 6.** Stages of formation of B5 formation of the Tether formation of the Vendian-Cambrian time

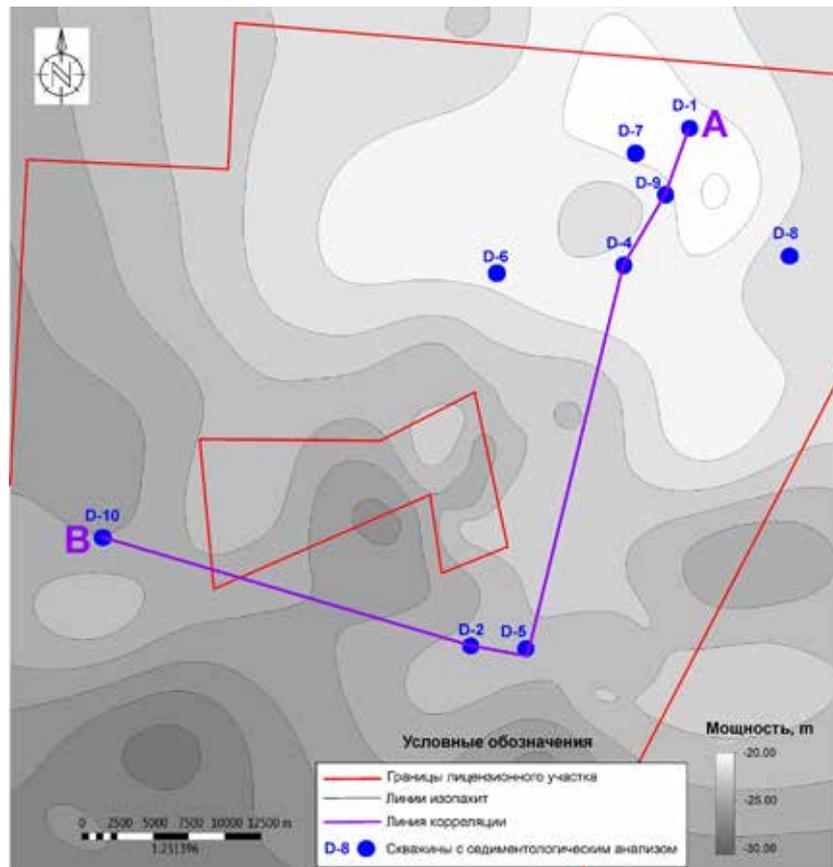


Рис. 7. Карта общих толщин пласта Б5

Fig. 7. Map of the total thickness of B5 formation

### Заключение

В результате выполненного седиментологического анализа удалось установить органогенную микробиальную природу и восстановить историю развития нижней части тэтэрской свиты на территории Даниловского ЛУ. В разрезе пласта Б5 отчетливо выделяются субфации ядра, краевой зоны и зернистых склонов органогенной постройки.

Рост органогенных построек происходил на территории древней карбонатной платформы в условиях мелководного шельфа на небольших глубинах, о чем свидетельствуют вертикально растущие каркасообразующие организмы с быстро меняющимся характером межскелетного заполнения, являющиеся источником обильного зернистого материала на пологих протяженных склонах.

На северо-востоке Даниловского ЛУ преобладали более мелководные условия шельфа, где фиксируются большой объем зернистых структур и сокращенные мощности пласта Б5.

На завершающем этапе формирования пласта породы выведены в условия субаэральной экспозиции, где начинается этап карстования, что приводит к образованию резервуара.

### Литература / References

Вараксина И. В., Хабаров Е. М. Литология карбонатных продуктивных горизонтов венда центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Нефтегазовая геология. 2015. № 3(23). С. 54–62.

Varaksina I. V., Khabarov E. M. Lithology of carbonate productive horizons in the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline. Oil and gas geology, 2015, No. 3(23), pp. 54–62 (in Russian).

Вараксина И. В., Хабаров Е. М. Седиментогенез и постседиментационные изменения карбонатных продуктивных отложений венда центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Материалы VII Всероссийского литологического совещания. 2013. Т. 1. С. 134–138.

Varaksina I. V., Khabarov E. M. Sedimentogenesis and postsedimentation changes of carbonate productive deposits in the Venda of the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline. Proc. of the 7th All-Russian Lithological Meeting, 2013, V. 1, pp. 134–138 (in Russian).

Еганова Д. К., Маринов Р. В. Литология и условия формирования усть-кутского продуктивного горизонта центральной части Непско-Ботуобинской антеклизы // Литология и Я: от идеи до выводов: Материалы 3-й Всероссийской школы студентов, аспирантов, молодых ученых и специалистов по литологии. 2018. С. 75–77.

Yeganova D. K., Marinov R. V. Lithology and conditions of formation of the Ust-Kut productive horizon of the central part of the Nepsko-Botuobinsk antecline // Materials of the 3rd All-Russian School of Students, Postgraduates, young Scientists and specialists in Lithology "Lithology and Me: from idea to conclusions", 2018, pp. 75–77 (in Russian).

Лемешко М. Н., Лемешко Д. И. Особенности продуктивных карбонатных отложений усть-кутского горизонта





- южной части непского свода на примере одной из скважин // Осадочная геология Урала и прилегающих регионов сегодня и завтра: Материалы 12 Уральского литологического совещания. 2018. С. 169—171.
- Lemeshko M. N., Lemeshko D. I. Features of productive carbonate deposits of the Ust-Kut horizon of the southern part of the Nepsky arch on the example of one of the wells. Proceedings of the 12th Ural Lithological Meeting "Sedimentary geology of the Urals and adjacent regions today and tomorrow", 2018, pp. 169—171 (in Russian).
- Мельников Н. В.* Венд-кембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы (стратиграфия, история развития). Новосибирск: СНИИГГиМС, 2017. 177 с.
- Melnikov N. V. Wend-Cambrian salt basin of the Siberian platform (stratigraphy, history of development). Novosibirsk: SNIIGGiMS, 2017, 177 p. (in Russian).
- Швецов Е. И., Ширяев А. В., Белогурова М. А.* Каркасообразующие организмы и типы коллекторов в доломитах юряхского подгоризонта непско-ботуобинской антеклизы // Динамика и взаимодействие геосфер земли: Материалы Всероссийской конференции с международным участием. 2021. С. 225—227.
- Shvetsov E. I., Shiryayev A. V., Belogurova M. A. Frame-forming organisms and reservoir types in the dolomites of the Yuryakhsky subhorizon of the Nepsko-Botuobinsk antecline. Proceedings of the All-Russian conference with international participation "Dynamics and interaction of the Earth's geospheres", 2021, pp. 225—227 (in Russian).
- Flügel E.* Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin: Heidelberg-Springer-Verlag, 2010. 976 pp.
- Pratt B. R.* Diagenetic Microfossils from Calcification of Coccolid Blue-Green Algae // Journal of Sedimentary Research (SEPM). 1984. No. 3. P. 948—971.

Поступила в редакцию / Received 20.11.2023



## К оценке геодинамической устойчивости геосфер Земли

А. В. Кокин<sup>1</sup>, А. А. Кокин<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Российская академия народного хозяйства при Президенте РФ, Ростов-на-Дону, [alex@avkokin.ru](mailto:alex@avkokin.ru)  
<sup>1, 2</sup> ГК «АЛКОН», Санкт-Петербург, [alex@alkon.net](mailto:alex@alkon.net)

Земля как система характеризуется определёнными средними параметрами состояния (плотностью, температурой). Эти параметры не могут не зависеть от подобных состояний внутренних геосфер (подсистем), которые подчиняются единому закону увеличения энтропии остывающей Земли в направлении от центра к поверхности по радиусу Земли. В качестве модели динамической устойчивости внутренних геосфер Земли относительно друг друга использован принцип золотой пропорции (золотого сечения) между параметрами плотности, температуры, мощности геосфер к крайним отношениям их состояний (0.618; 1.618; 2.618) в точках, определяющих условия устойчивого динамического равновесия сравниваемых параметров геосфер. Когда эти отношения удовлетворяли известным теоретическим, модельным, геофизическим данным, делался вывод о том, что геосферы в сравниваемых отношениях параметров находятся в состоянии, близком к устойчивому динамическому равновесию в части обмена веществом и энергией между ними. В противном случае признавалось, что либо сравниваемые геосферы Земли находятся в состоянии неустойчивого динамического равновесия с оценкой уровня отклонения от золотых чисел, либо известные значения плотности и температуры геосфер, а также их структура должны быть подвержены уточнению.

Оказалось, что средние модельные оценки параметров внутренних геосфер Земли достигают устойчивого динамического равновесия при отклонениях от золотых чисел до 2.72 %. Неустойчивость динамического равновесия плотности и температуры вещества устанавливается на границах континентальной (гранитный слой) / океанической (базальтовый слой) коры; верхней мантии / слоя Голицына, нижней мантии / внешней части ядра Земли; внутри ядра Земли на уровне выделенных переходных зон в четырёхслойной модели ядра. Наличие во внутреннем (твёрдом) ядре сфер с высокой плотностью – от 16.05 до 26.45 г/см<sup>3</sup> – позволяет предположить расслоение центральной части ядра на существенно золотую и платиноидную части.

Важное практическое следствие непрерывности сопряженной дифференциации вещества геосфер в геологической истории Земли состоит в следующем: при формировании эндогенных рудных месторождений источник металлов в большинстве случаев был гетерогенным, включающим компоненты не только мантийного, но и корового происхождения. Основным источником воды Мирового океана могла быть ювенильная вода из глубин Земли, образовавшаяся при дегазации магм на ранней стадии геологической истории. При этом роль кометного вещества в формировании Мирового океана на Земле была, скорее всего, ничтожной. В противном случае изотопный состав кислорода воды отвечал бы первично-космическому изотопному составу кислорода. Можно предполагать, что относительное равновесие внутренней структуры Земли будет продолжаться ещё около 124 млн лет, вплоть до начала формирования новой Пангеи Проксима, которая, по Кристофору Скотезе, возникнет через 200 млн лет.

**Ключевые слова:** Земля, плотность, температура, геосфера, континентальная и океаническая кора, верхняя мантия, нижняя мантия, ядро, четырёхслойная модель ядра

## Assessment of geodynamic stability of the Earth's geospheres

A. V. Kokin<sup>1</sup>, A. A. Kokin<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> Russian Presidential Academy of National Economy, Rostov-on-Don  
<sup>1, 2</sup> ALCON group of companies, St. Petersburg

The Earth, as a system, is characterized by certain average state parameters (density, temperature). These parameters cannot but depend on similar states of internal geospheres (subsystems), which follow the unified law of increasing entropy of the cooling Earth from the center in the direction of the Earth's radius. As a model for assessing the dynamic stability of the Earth's internal geospheres relative to each other, the principle of the golden proportion (golden section) was used with the given parameters of density, temperature, power of the geospheres to the extreme ratios of their states at points (0.618; 1.618; 2.618), which determine the conditions for the stable dynamic equilibrium of the compared parameters of geospheres. And if these relations satisfied the known theoretical, model, geophysical data, then the conclusion was made that the geospheres in the compared parameter relations were in a state close to a stable dynamic equilibrium of the exchange of matter and energy between them. Otherwise, it was recognized that the compared geospheres of the Earth were in a state of either unstable dynamic equilibrium with an assessment of the level of this deviation from the golden numbers, or the known values of the density and temperature of the geospheres, as well as their structure, should be subject to clarification.

Average model estimates of the parameters of the Earth's internal geospheres reach a stable dynamic equilibrium at a level of deviation from the golden numbers of up to 2.72 %. This allows estimating the model duration of the modern geological activity of the Earth for another 124 million years until the formation of a new state of the existing continents. The instability of the dynamic equilibrium of density and temperature of matter is established at the boundaries: continental and oceanic crust; oceanic crust and Golitsin layer; at the boundary between the outer part of the Earth's core and the lower mantle; inside the Earth's core at the level of identified transition zones in the four-layer core model. The presence of spheres with a high core density from 16.05 to 26.45 g/cm<sup>3</sup> suggests the stratification of its central part into essentially gold and platinum.

The presence of instability boundaries in the dynamic state of geospheres is in good agreement with the concept of plate tectonics and with the depths of plume origin. It can be assumed that the relative equilibrium of the internal structure of the Earth will continue for about 124 million years until the beginning of the formation of a new Pangea Proxima, which, according to Cristoforo Scotese, will arise in 200 million years.

**Keywords:** Earth, density, temperature, geosphere, continental and oceanic crust, upper mantle, lower mantle, core, four-layer core model

**Для цитирования:** Кокин А. В., Кокин А. А. К оценке геодинамической устойчивости геосфер Земли // Вестник геонаук. 2024. 5 (353). С. 16–28.  
DOI: 10.19110/geov.2024.5.2

**For citation:** Kokin A. V., Kokin A. A. Assessment of geodynamic stability of the Earth's geospheres. Vestnik of Geosciences, 2024, 5 (353), pp. 16–28, doi: 10.19110/geov.2024.5.2



## Введение

Современные попытки исследовать системы по частям приводят не только к противоречивым результатам, но и усложняют представление о целостности изучаемого объекта, например внутреннего строения Земли (Физика геосфер, 2013). Если пользоваться методологическим принципом Оккама, то можно признать, что такие исследователи зачастую сами «множат сущее без необходимости». Поэтому необходимы такие методы и модели, которые позволили бы, не нарушая системности внутреннего строения Земли, достаточно эффективно изучать ее по частям. Очевидно, что такая перспектива зависит прежде всего от постановки вопросов, на которые мы хотим найти ответ. Например, в какой степени динамического равновесия — устойчивого или неустойчивого — могут находиться современные внутренние геосферы Земли в условиях непрерывного взаимообмена веществом и энергией? От этого зависит современная тектоническая активность Земли. Если геосферы Земли находятся в состоянии неустойчивого равновесия, то на каких именно уровнях возникает эта неустойчивость? После ответа на этот вопрос геологам и геофизикам, владеющим современными знаниями о поведении вещества в различных физико-химических условиях, будет гораздо проще понять, с чем конкретно связана упомянутая неустойчивость.

В рамках системного подхода к исследованию глубинного строения Земли устойчивость её самоорганизации трактуется как зависимость от внутренней энергии, вещественного состава, свойств и состояния подсистем (геосфер), определяющих структуру и динамику всей системы (Кокин, 2023). При этом, как известно, свойства целостной системы Земли богаче свойств составляющих её геосфер (принцип эмерджентности, или так называемая несводимость свойств системы только к сумме составляющих её компонентов). По этой причине возникает возможность оценки уровня устойчивости состояния любых подсистем (в т. ч. внутренних геосфер Земли) по хотя бы одному известному параметру системы в целом, если известен закон ее развития. Например, закон снижения геологической (геодинамической) активности в истории Земли обусловлен потерей ею внутренней энергии и неизбежным ростом энтропии (Параев, 2021). Следовательно, неизбежно наступит время, когда активная геологическая деятельность Земли либо прекратится, либо изменится её состояние. Вопрос: когда?

## Модель исследования

Под динамической устойчивостью системы внутреннего строения Земли понимается самоорганизующаяся способность геосфер, термодинамические параметры которых (температура, температурный градиент, плотность и пр.) остаются постоянными в течение некоторого времени. И происходит это в связи со стабилизацией процессов обмена веществом и энергией между земной корой, мантией и ядром Земли (Лисицын, 2001). Моделью оценки такого обмена может служить принцип золотой пропорции (золотого се-

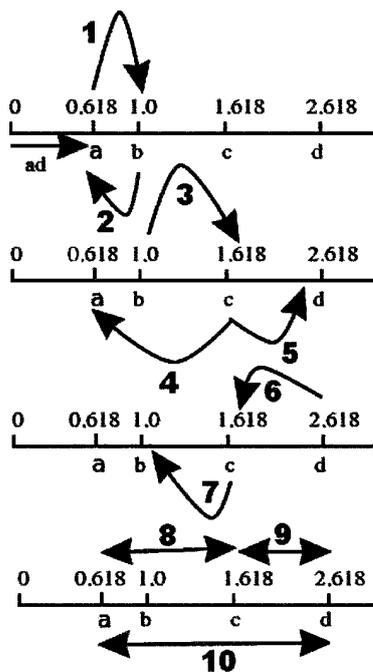
чения) между исследуемыми параметрами и их крайними значениями — плотности, температуры, глубины залегания, мощности геосфер. Как было показано ранее, золотое сечение — это не просто деление какого-либо отрезка в крайних отношениях. Это универсальное свойство любых самоорганизующихся природных и социальных систем (Кокин, Кокин, 2022), способных периодически переходить из устойчивого состояния в неустойчивое и обратно в зависимости от внутренних динамических возмущений (Ломизе, Хаин, 2005; Сорохтин, Сорохтин, 2010). В этом контексте золотое число является своего рода границей изменения крайних отношений исследуемых параметров, за пределами которой самоорганизующаяся система переходит в состояние неустойчивого динамического равновесия. На основе изучения динамики систем разного уровня организации, включая природные и социальные, был сформулирован всеобщий принцип самоподобия организации Природы (всего действительного окружающего мира) на всех этапах ее развития. То есть в природе подобие транслируется на все уровни организации вещества, включая квантовый мир.

Предельные значения золотых пропорций систем (подсистем) в крайних отношениях могут определяться числами 0.618, 1.618, 2.618. Из них число 1.618 называется золотым числом  $\Phi^*$  в честь древнегреческого скульптора и архитектора Фидия. Выводимость числа  $\Phi$  также вытекает из числового рекурсивного ряда последовательности Фибоначчи (Fibonacci Liber Abaci, 2002). А важнейшим свойством указанных чисел, характеризующих состояние параметров самоорганизующихся систем и подсистем, является их выводимость одного из другого (рис. 1).

Свойство выводимости операций с золотыми числами заключается в возможности оценить состояние системы (например, внутреннего строения Земли) отношениями или мультипликациями (умножениями) исследуемого физического параметра геосферы (плотность, температура и т. д.) с золотыми числами. Например, результат отношения изучаемого параметра (плотности Земли, равной  $5.513 \text{ г/см}^3$ ) к золотому числу  $1.618$  —  $5.513 / 1.618 = 3.407 \text{ г/см}^3$  будет иметь то же значение, что и результат умножения этого физического параметра на золотое число  $0.618$  —  $5.513 \times 0.618 = 3.407 \text{ г/см}^3$ . Смысл такой выводимости состоит в том, что любой исследуемый параметр системы в процессе обмена веществом и энергией может достигать состояния устойчивого динамического равновесия в разных точках систем именно при достижении золотого числа  $\Phi = 1.618$ . Это особенно важно, если мы хотим дать оценку предыдущего состояния к последующему и наоборот.

Выводимость самих золотых чисел возможна в вариантах оценки их промежуточных и крайних состояний:  $1/0.618 = \mathbf{1.618}$ ;  $0.618/1 = \mathbf{0.618}$ ;  $1.618/1.618 = \mathbf{1}$ ;  $1.618/0.618 = \mathbf{2.618}$ ;  $2.618/1.618 = \mathbf{1.618}$ ;  $1.618/2.618 = \mathbf{0.618}$ ;  $1.618/0.618 = \mathbf{2.618}$ ;  $2.618/1.618 = \mathbf{1.618}$ . Из этих золотых пропорций соседние состояния также могут быть определены, но не отношениями, а произведениями золотых чисел:  $0.618 \times 1 = \mathbf{0.618}$ ;  $0.618 \times 1.618 = \mathbf{1}$ ;  $0.618 \times 2.618 = \mathbf{1.618}$ ;  $1.618 \times 1.618 = \mathbf{2.618}$ . При этом чис-

\* Первоначально «золотое» число показывало, сколько из 19 лет лунного цикла приходилось на тот или иной год. Название числа, вероятно, происходит из того факта, что результат расчета Метона был выгравирован золотым письмом на стене Пникса в Афинах.



**Рис. 1.** Схема вывода золотых пропорций самоорганизующихся динамических систем. В точках **a, c, d** динамические системы находятся в состоянии устойчивого динамического равновесия. В точке **b** они могут находиться в состоянии равновесности (стагнации). Вектор **ad** определяет стадии состояния систем, в точках **a, c, d** которого периодически могут возникать условия устойчивого динамического равновесия как при развитии систем, так и при их деградации (векторы 1–10)

**Fig. 1.** Scheme for deriving golden proportions of self-organizing dynamic systems. At points **a, c, d**, dynamic systems are in a state of stable dynamic equilibrium. At point **b** they can be in an equilibrium state (stagnation). Vector **ad** determines stages of the state of systems, at points **a, c, d** of which conditions of stable dynamic equilibrium may periodically arise, both during the development of systems and during their degradation (vectors 1–10)

ло **1** в отношениях с золотыми числами характеризует исследуемый объект как равновесный (стагнирующий) относительно другого. В ряду золотых чисел 0.618 означает минимально устойчивое, 1.618 — устойчивое, 2.618 — предельно устойчивое состояние динамического равновесия. Физический смысл золотого сечения в рассматриваемом случае состоит в том, что если какой-то исследуемый параметр геосферы в его крайних отношениях стремится к величине 1.618, то геосфера находится в состоянии устойчивого динамического равновесия с соседней геосферой. Любое отклонение от числа 1.618 под влиянием внутренних сил характеризует переход геосферы в неустойчивое (более сложное) состояние. Само же состояние устойчивого динамического равновесия требует энергетических затрат на поддержание такой устойчивости. В стагнирующих (равновесных) состояниях анализируемые параметры систем в отношении достигают значения 1.

Подчеркнём важную особенность исследования параметров любой системы на основе модели золотых чисел (пропорций). Относительно золотого числа 1.618, характеризующего устойчивость динамического состояния системы, положение состояний около золотых чисел 0.618 и 2.618 не является симметричным. Это указывает на то, что для достижения состояния устойчивого динамического равновесия в точке 1.618 требуется затратить энергию на его поддержание. А в качестве допущения принимается вариант, что каждая геосфера в состоянии равновесия характеризуется однородным составом (например, минеральным).

### Результаты применения модели

#### 1. Модельное исследование отношений известных параметров плотности вещества геосфер Земли

Оценка золотых отношений плотности вещества в геосферах Земли приведена в табл. 1. Из неё следует, что отношения плотности геосфер: Земля / верхняя

**Таблица 1.** Матрица золотых отношений известных оценок плотности вещества (г/см<sup>3</sup>) для важнейших геосфер Земли

**Table 1.** Matrix of golden ratios of known estimates of matter density (g/cm<sup>3</sup>) for the most important geospheres of the Earth

Земля Earth	Мантия Mantle	Нижняя мантия Lower mantle	Верхняя мантия Upper mantle	Слой Голицына Golitsyn layer	Океаническая кора Oceanic crust	Континентальная кора Continental crust
	1.23	0.984	<b>1.638</b> (1.24 %)	1.303	<b>1.671</b> (3.27 %)	1.945
		0.8	1.332	<b>1.059</b>	1.358	<b>1.581</b> (2.29 %)
			<b>1.664</b> (2.84 %)	1.324	<b>1.697</b> (4.88 %)	1.975
				0.795	<b>1.020</b>	1.187
					1.282	1.492
						1.164

Плотность геосфер по известным геофизическим данным, г/см<sup>3</sup>  
Density of geospheres according to known geophysical data, g/cm<sup>3</sup>

5.513	4.482	5.6	3.365	4.23	3.3	2.835
-------	-------	-----	-------	------	-----	-------

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены значения вблизи золотого числа 1.618. В скобках приведены отклонения от числа 1.618

*Note.* Values near the golden number 1.618 are highlighted in bold. Deviations from the number 1.618 are given in parentheses



мантия; Земля / океаническая кора; мантия / континентальная кора; нижняя / верхняя мантии; нижняя мантия / океаническая кора — отклоняются от золотой пропорции всего лишь на 1.24–4.88 %, т. е. по плотности геосферы близки к устойчивому динамическому равновесию, а обменные процессы веществом и энергией не изменяют это состояние. Однако такое равновесие геосфер является фрагментарным, и поэтому нельзя сказать определённо, в каком состоянии находится Земля в целом. Для ответа на этот вопрос необходим анализ отношений плотности геосфер в интервалах всех золотых чисел.

Модельная оценка состояния динамической устойчивости геосфер на основе отношений плотности их вещества к золотым числам, исходя из одной из величин плотности вещества геосфер Земли, приведена в табл. 2. Если эти значения окажутся близкими к известным, то предположение о наличии устойчивого динамического равновесия геосфер в рамках золотой пропорции будет верным. Если же рассчитанные значения не совпадут с теоретическими, то это приведет к двум вариантам вывода: 1) теоретически рассчитанные физические параметры геосфер (плотность, температура, градиент температуры, мощность геосфер) нуждаются в корректировке; 2) исследуемые геосферы находятся в состоянии неустойчивого динамического равновесия.

## *2. Модельная оценка плотности вещества геосфер относительно известной средней плотности Земли, континентальной и океанической коры, верхней, нижней мантий и ядра Земли*

Модельные плотности вещества геосфер (табл. 2) относительно средней плотности Земли ложатся в допустимые известные пределы разброса значений по теоретическим и геофизическим данным. Действительно, средняя плотность Земли не может не зависеть от средней плотности вещества её геосфер (Бурмин, 2006). А сопоставимые модельные значения вещества геосфер с известными по различным источникам данными дают основание выделить главную особенность принятой нами системной модели, не прибегая к необходимости прямых (геофизических, модельных и т. д.) исследований их вещества в рамках соответствия системы и подсистем единому закону роста энтропии остывающей Земли (Кузнецов, 1998).

Небольшие отклонения модельных значений плотности вещества геосфер от известных можно интерпретировать как доверительный интервал их возможных оценок разными методами.

Модельная плотность вещества геосфер относительно средней плотности Земли даёт возможность оценить отклонения от средней плотности земного ядра, плотности в его центре, а также осадочных пород, океанической коры за исключением мантийного вещества. Хотя и так известно, что средняя плотность Земли близка к средней плотности мантийного вещества. Модельная плотность вещества геосфер относительно средней плотности земной коры не приводят к существенному отличию от таковых, полученных другими независимыми методами. Это даёт основание полагать (Кокин, 2022), что по плотности вещество геосферы Земли, судя по отклонениям модельных зна-

чений от экспериментальных, находится в состоянии, близком к устойчивому динамическому равновесию. Модельная плотность вещества, включая водную оболочку Земли (Хорн, 1972), также весьма близко соответствует теоретическим и геофизическим данным (Гутенберг, 1963). Т. е. обменные процессы в составе Земли, включая осадочную кору и воды Мирового океана, в рамках всей геологической истории не только участвовали в формировании состава всех её геосфер под влиянием единого и непрерывного процесса дифференциации вещества, но и были способны периодически достигать устойчивого динамического равновесия в различных геологических средах и эпохах.

В рамках золотой пропорции относительно золотого числа 1.618 мы можем дать модельную оценку плотности вещества нижней мантии на границе её с ядром, а верхней мантии — на границе с земной корой (табл. 2, d (1, 2), e (1, 2)). Ту же оценку можно дать в рамках предполагаемого предельного состояния устойчивости динамического равновесия между земной корой (2.08 г/см<sup>3</sup>) и мантией. Полученные значения и в первом, и во втором случае оказываются близкими к средней плотности вещества Земли — 5.513 г/см<sup>3</sup>. Следовательно, средняя модельная плотность Земли определяется не только уровнем границы нижней мантии и ядра, но и взаимно удаленными геосферами — земной корой и земным ядром. Такая картина может указывать на единый процесс обмена веществом и энергией всех геосфер с момента их появления в ходе глобальной дифференциации Земли.

Отклонение модельной оценки плотности вещества нижней мантии на границе ядра от теоретически известной достигает всего 2.8 %. Модельная оценка плотности вещества земной коры на границе с верхней мантией относительно известной плотности вещества составляет 1.4 %. В рамках принятой нами модели оценки плотности вещества верхнего (жидкого) ядра в условиях достижения устойчивого динамического равновесия варьируются в пределах от 6.0–8.5 до 13.1–14.3 г/см<sup>3</sup>. Модельные оценки плотности остальных геосфер и Земли в целом близки к известным с отклонениями в пределах 0.11–2.8 %. Отношения модельной плотности жидкого ядра на границе с нижней мантией близки к золотому числу.

Несмотря на то, что некоторые геосферы Земли по плотности вещества находятся в состоянии, близком к устойчивому динамическому равновесию, в общем разрезе Земли отклонение от «золотого сечения» экспериментальных данных составляет для Земли в целом — 3.28 %, для земной коры — 2.21–3.34 %, для осадочной оболочки — 6.22 %, для верхней мантии — 2.04 %, для нижней мантии — 3.05 %, для ядра — 8.68 %. Для всех геосфер Земли в целом, исключая осадочную оболочку, — 2.72 %.

Значительные отклонения плотности вещества от золотой пропорции и современных геофизических данных могут быть объяснены разными причинами:

1) ошибками существующих оценок плотности вещества современными методами, поскольку, например, вещественный состав ядра оценивается пока лишь предположительно;

2) связью процессов, происходящих в ядре Земли, с существующей более активной динамикой обмена веществом и энергией под влиянием различных факторов в рамках двухслойной модели ядра.

**Таблица 2.** Модельные оценки состояния геосферы (гидросферы, литосферы, земной коры, верхней и нижней мантии, ядра) относительно известных значений плотности их вещества

**Table 2.** Model estimates of the state of geospheres (hydrosphere, lithosphere, earth's crust, upper and lower mantle, core) relative to the known values of the density of their matter

№	Модель 1 Model 1	Модельная плотность вещества, г/см <sup>3</sup> Model density of matter, g/cm <sup>3</sup>	Известные вариации (Пушаровский, 1996) плотности вещества в границах геосфер, г/см <sup>3</sup> Known variations (Pushcharovsky, 1996) of matter density within the boundaries of geospheres, g/cm <sup>3</sup>	Модель 2 Model 2	Модельная плотность вещества, г/см <sup>3</sup> Model density of matter, g/cm <sup>3</sup>	Известные вариации плотности вещества, г/см <sup>3</sup> Known variations in the density of matter, g/cm <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6	7
<b>а. Относительно средней плотности Земли 5.513г/см<sup>3</sup> / Relative to the average density of the Earth 5.513 g/cm<sup>3</sup></b>						
1	5.513 / 0.618	<b>8.92</b> (3.3 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core 9–8.25 среднее / average — 8.625	5.513 × 0.618	<b>3.41</b> (3.22 %)	средняя плотность океанической коры average density of oceanic crust 3.3
2	5.513 / 1.618	<b>3.41</b> (3.22 %)	средняя плотность океанической коры average density of oceanic crust 3.3	5.513 × 1.618	<b>8.92</b> (3.31 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core 9–8.25 среднее / average — 8.625
3	5.513 / 2.618	<b>2.106</b> (8.02 %)	плотность осадочных пород от 1850 до 2700 density of sedimentary rocks from 1850 to 2700 среднее / average — 2.275	5.513 × 2.618	<b>14.43</b> (7.83 %)	плотность в центре ядра Земли density at the center of the Earth's core 12.5; 13.1; 14.3 среднее / average 13.3
<b>б. Относительно средней плотности континентальной земной коры 2.835 г/см<sup>3</sup> / Relative to the average density of the continental crust 2.835 g/cm<sup>3</sup></b>						
1	2.835 / 0.618	<b>4.587</b> (2.29 %)	средняя плотность вещества нижней мантии average density of lower mantle matter 4.482	2.835 × 0.618	<b>1.752</b> (2.97 %)	средняя плотность суглинков average density of loams 1.7
2	2.835 / 1.618	<b>1.752</b> (2.97 %)	средняя плотность суглинков average density of loams 1.7	2.835 × 1.618	<b>4.587</b> (2.29 %)	средняя плотность вещества нижней мантии average density of lower mantle matter 4.482
3	2.835 : 2.618	<b>1.08</b> (0.38 %)	средняя плотность океанической воды average density of oceanic crust 1.076	2.835 × 2.618	<b>7.422</b> (16.21 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core 9–8.25 среднее / average — 8.625

1	2	3	4	5	6	7
<b>с. Относительно средней плотности океанической коры 3.3 г/см<sup>3</sup> / Relative to the average density of the oceanic crust 3.3 g/cm<sup>3</sup></b>						
1	3.3 : 0.618	<b>5.34</b> (4.87 %)	средняя плотность Земли average density of the Earth 5.513 плотность вещества нижней мантии на границе ядра Земли density of lower mantle matter at the boundary of earth's core 5.6	3.3 × 0.618	<b>2.039</b> (11.57 %)	плотность вещества осадочных пород density of matter of sedimentary rocks 1.85–2.7 среднее / average — 2.275
2	3.300 : 1.618	<b>2.039</b> (11.57 %)	плотность вещества осадочных пород density of matter of sedimentary rocks 1.85–2.7 среднее / average — 2.275	3.3 × 1/618	<b>5.339</b> (4.89 %)	плотность вещества нижней мантии на границе с ядром Земли density of lower mantle matter at the boundary of earth's core 5.6
3	3.3 : 2.618	<b>1.26</b> (0.8 %)	солёные озёра Salt lakes 1.2–1.3 среднее / average — 1.25	3.3 × 2.618	<b>8.639</b> (0.17 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core 9–8.25 среднее / average — 8.625
<b>d. Относительно средней плотности верхней мантии 3,365 г/см<sup>3</sup> / Relative to the average density of the upper mantle 3.365 g/cm<sup>3</sup></b>						
1	3.365 : 0.618	<b>5.545</b> (0.01 %)	плотность вещества нижней мантии на границе с ядром Земли density of lower mantle matter at the boundary of earth's core 5.6	3.365 × 0.618	<b>2.08</b> (9.37 %)	плотность вещества осадочных пород density of matter of sedimentary rocks 1.85–2.7 среднее / average — 2.275
2	3.365 : 1.618	<b>2.08</b> (9.37 %)	плотность вещества осадочных пород density of matter of sedimentary rocks 1850 до 2700 среднее / average — 2.275	3.365 × 1.618	<b>5.545</b> (1.01 %)	плотность вещества нижней мантии на границе с ядром Земли density of lower mantle matter at the boundary of earth's core 5
3	3.365 : 2.618	<b>1.285</b> (2.72 %)	солёные озёра salt lakes 1.2–1.3 среднее / average — 1.25	3.365 × 2.618	<b>8.808</b> (2.09 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core: 9–8.25 среднее / average — 8.625

Табл. 2. Окончание / End Table 2

1	2	3	4	5	6	7
<b>е. Относительно средней плотности нижней мантии 5.600 г/см<sup>3</sup> / Relative to the average density of the lower mantle 5.600 g/cm<sup>3</sup></b>						
1	5.56 : 0.618	<b>8.897</b> (3.06 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core 9–8.25 среднее / average — 8.625	5.560 × 0.618	<b>3.436</b> (2.07 %)	средняя плотность океанической коры average density of oceanic crust 3.3 плотность вещества на границе океанической коры и верхней мантии density of matter at the boundary of the oceanic crust and upper mantle 3.365
2	5.56 : 1.618	<b>3.436</b> (4.04 %) (1)  (2.07 %) (2)	средняя плотность океанической коры average density of oceanic crust 3.3 (1) плотность вещества на границе океанической коры и верхней мантии density of matter at the boundary of the oceanic crust and upper mantle 3.365 (2)	5.56 × 1.618	<b>8.996</b> (4.12 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core 9–8.25 среднее / average — 8.625
3	5.56 : 2.618	<b>2.124</b> (7.11 %)	плотность вещества осадочных пород density of matter of sedimentary rocks 1.85–2.7 среднее / average — 2.275	5.56 × 2.618	<b>14.556</b> (1.76 %)	плотность в центральной части ядра Density in the central part of the core 14.3
<b>ф. Относительно средней модельной плотности ядра Земли 9.919 г/см<sup>3</sup> / Relative to the average model density of the Earth's core 9.919 g/cm<sup>3</sup></b>						
1	9.919 : 0.618	<b>16.05</b> (1.56 %)	возможное наличие в составе ядра золота possible presence of gold in the core composition	9.919 × 0.618	<b>6.13</b> (40.7 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core среднее / Average — 8.625
2	9.919 : 1.618	<b>6.13</b> (40.7 %)	известные вариации плотности земного ядра known variations in the density of the earth's core 9–8.25 среднее / average — 8.625	9.919 × 1.618	<b>16.05</b> (1.55 %)	возможное наличие в центре ядра золота possible presence of gold in the center of the core
3	9.919 : 2.618	<b>3.789</b> (11.1 %)	плотность вещества верхней мантии на границе с океанической корой density of the upper mantle at the boundary with the oceanic crust 3.365	9.919 × 2.618	<b>25.968</b> (14.7 %)	возможное наличие в центре ядра платиноидов possible presence of platinumoids in the center of the core



### 3. Модельная оценка температуры вещества в геосферах Земли (табл. 3)

Если теоретически рассчитанная температура во внутреннем ядре Земли действительно соответствует среднему значению ( $5960 \pm 500$ ) °C (Alfè, Gillan, Price, 2002; Sobolev et al., 2019), то в рамках двухслойной модели ядра (Tircotte, 2002) отношение  $5960 \text{ °C} / 1.618 = 3683 \text{ °C}$  будет отражать среднюю температуру жидкого ядра на границе с нижней мантией. Температура мантии в таком случае составит  $2276 \text{ °C}$ , а под океанами примерно на глубине  $74,8 \text{ км}$  будет достигать  $1407 \text{ °C}$ , если принять во внимание значение геотермического градиента в  $18,8\text{—}18,6 \text{ °C/км}$ , практически до глубины  $12,3$  и аппроксимированного до глубины  $15 \text{ км}$ . Таким образом, модельная температура под океанами близка к температуре, полученной экспериментальным путём канадскими исследователями ( $1400 \text{ °C}$ ).

Выше по разрезу по той же процедуре расчёта ряд последовательности изменения температуры геосфер будет изменяться, как показано в табл. 3. Первый скачок изменения температурного градиента от  $0,8$  до  $1,3 \text{ °C/км}$  фиксируется на границе верхней и нижней мантий. Это хорошо согласуется с вариантами современной оценки возможных глубин формирования длиннофокусных землетрясений. Аномально высокие изменения температурного градиента отмечаются в земной коре вблизи границы Конрада при скачкообразном его возрастании в пределах гранитного слоя на глубинах от  $11$  до  $45 \text{ км}$ . Последнее неплохо согласуется с теорией глобальной тектоники плит и фактом максимального числа зарождения короткофокусных землетрясений именно на глубине  $30\text{—}45 \text{ км}$ .

Полученные модельные оценки температуры геосфер Земли позволяют говорить о состоянии, близком к термодинамическому равновесию в диапазоне верхней и нижней мантий. А на границах земная кора / верхняя мантия, нижняя мантия / жидкое ядро динамическое равновесие нарушается из-за резких скачков температуры.

### 4. Модельные значения температуры и плотности ядра Земли.

#### Гипотеза четырёхслойной модели ядра Земли

Современные представления о ядре Земли (Бурмин, 2010) закрепились в его двухслойной модели: твёрдое, преимущественно состоящее из железоникелевого сплава с металлическими примесями, и жидкое (верхнее), представляющее расплав состава твёрдого ядра. В этом случае можно было бы допустить существование между ними состояния, близкого к устойчивому динамическому равновесию. Однако современные исследования показали возможность наличия не двух-, а трёхслойной модели ядра (Tao Wang et al., 2015). В рамках принятой нами модельной оценки плотности вещества в составе ядра Земли с предполагаемым устойчивым динамическим равновесием между твёрдой и жидкой фазами в ядре могут быть выявлены до четырёх слоев: по два в твердой и жидкой его частях с плотностями соответственно ( $\text{г/см}^3$ )  $14,493$  и  $16,05\text{—}26,96$ ,  $7,422$  и  $8,816$  при среднем значении для ядра  $14,73$ . Последнее близко к плотности  $14,3 \text{ г/см}^3$ , которую обычно относят к центру ядра Земли (Robertson, 2011). В на-

шем варианте разброс модельных значений плотности в центре средней части твердой оболочки ядра в диапазоне  $16\text{—}26,5 \text{ г/см}^3$  может по аналогии с метеоритным веществом (Стрекопытов, 2022) указывать на присутствие в ядре особенно высокоплотных фаз, сравнимых с самородным золотом и платиноидами.

По разным экспериментальным оценкам в ядре Земли плотность вещества в основном варьируется в пределах от  $6\text{—}8,25$  до  $12,1\text{—}13,1$  и  $14,3 \text{ г/см}^3$ , а по некоторым оценкам может достигать и  $31 \text{ г/см}^3$ . Последней оценки в своё время придерживались В. М. Гольдшмидт, А. Эйкен, Е. Орован, А. П. Виноградов, указывая на то, что начальная величина плотности вещества Земли к моменту её формирования составляла примерно  $35 \text{ г/см}^3$ , что кратно больше современной плотности вещества внутреннего ядра (Витязев и др., 1977). Но такая ситуация могла быть возможна только в рамках иной, чем принятая в настоящее время, модели образования Земли (Кузнецов, 1998).

В рамках рассматриваемой нами модели ядро Земли может представлять собой систему, состоящую из верхней части жидкого ядра с граничными (низ/верх) плотностями  $8,816$  и  $7,422 \text{ г/см}^3$  и двух зон твёрдой части ядра с плотностями  $14,493$  и  $26,96\text{—}16,05 \text{ г/см}^3$ . Максимальная мощность приходится на составные части жидкого ядра (в совокупности около  $2500 \text{ км}$ ), как и в существующей двухслойной модели, но, вероятно, характеризующиеся разной структурой расплава. При этом отношения модельных плотностей зон ядра указывает на наличие в его строении двух уровней устойчивого динамического равновесия: на границе «нижняя часть твёрдого ядра / переходная зона — 1» (вблизи числа **1.618**) и на границе «переходная зона — 2 / жидкое ядро» (также вблизи числа **1.618**). Между верхней частью жидкого ядра и нижней мантией отмечается резко неустойчивое динамическое равновесие, на что указывает отношение плотностей  $7,422 / 5,445 = 1,363$ , отклоняющееся от числа  $1,618$  на  $0,255$ , или  $15,76 \%$ . Это указывает на непостоянство процессов взаимодействия мантийного вещества с жидкой частью ядра.

Следует заметить, что видный современный геофизик К. Хирахара также предполагает, что твёрдое ядро Земли состоит из большего числа слоёв, отделённых переходными зонами с мощностью от  $250$  до  $400 \text{ км}$  (Hirahara, 1994). Таким образом, уже не в первый раз выдвигается идея о том, что земное ядро может быть не двухслойным, а многослойным.

Если расслоенное ядро действительно может находиться в состоянии устойчивого динамического равновесия в рамках обменных процессов веществом и энергией, то модельные мощности расслоенного ядра могут быть определены следующим образом.

В рамках представления о двухслойности ядра мощность твердой его части оценивается в  $1300 \text{ км}$ , а температурный градиент по радиусу в центральной части ядра составит  $0,935 \text{ °C/км}$ . В четырёхслойной модели мощность твёрдого ядра определяется в  $1215 \text{ км}$ . Это незначительно отличается от расчетов других авторов (Бурмин, 2010). А температура на границе твёрдой части ядра со следующим слоем может достигать  $5573 \text{ °C}$ . Следовательно, градиент температуры в нижней части ядра вблизи его границы со следующим слоем составит  $5573/1215 = 4,59 \text{ °C/км}$ .





*Примечание.* В золотых пропорциях отношение мощностей нижней и верхней мантии ( $2781/1080 = 1.650$ ) близко к числу 1.618, соответствующему состоянию устойчивого динамического равновесия (изменение мощности одной пропорционально ведёт к изменению мощности другой). Отклонение от золотого числа составляет  $1.618 - 1.650 = -0.03$  (1.98 %). То же определяется и на верхней границе слоя Голицына —  $1080/670 = 1.643$ ,  $1.618 - 1.643 = -0.025$  (1.54 %). То есть процессы обмена веществом и энергией между этими геосферами, влияющие на изменение их мощностей, осуществляются пропорционально.

*Note.* In golden proportions, the ratio of the thickness of the lower and upper mantle ( $2781/1080 = 1.650$ ) is close to 1.618, which corresponds to a condition of stable dynamic equilibrium (a change in the thickness of one proportionally leads to a change in the thickness of the other). The deviation from the golden number is  $1.618 - 1.650 = -0.03$  (1.98%). The same is determined at the upper boundary of the Golitsyn layer —  $1080 / 670 = 1.643$ ,  $1.618 - 1.643 = -0.025$  (1.54%). That is, the processes of exchange of matter and energy between these geospheres, affecting the change in their capacities, are carried out proportionally.

**Таблица 4.** К четырёхслойной модели ядра Земли по температуре, градиенту температур и модельной мощности расслоенных зон

**Table 4.** Four-layer model of the Earth's core according to temperature, temperature gradient and model thickness of stratified zones

Вероятное относительное положение геосфер ядра Probable relative position of core geospheres	Модельная оценка температуры геосфер, °С Model estimate of geosphere temperature, °C	Величина геотермического градиента в границах ядра, °С/км Value of the geothermal gradient within the core, °C/km	Плотность сфер ядра г/см <sup>3</sup> Density of core spheres g/cm <sup>3</sup>	Отношение плотностей сфер ядра Core sphere density ratio	Модельная мощность сфер ядра км Model power of core spheres, km	Величина отношения мощностей (от нижних к верхним сферам) Value of thickness ratio (from lower to upper spheres)
Центр твёрдого ядра Center of the solid core	5960	0.935	26.96 16.05	26.968/16.05 = = 1.618	6371	
Твёрдая фаза ядра Solid phase of the core	5956	4.902				I
Верхняя часть твёрдого ядра Upper part of the hard core (Alfe, Gillan, Vocado, 2002)	5400	7.191	14.493	14.493/8.816 = = 1.644	751	1.618
Нижняя часть жидкого ядра Lower part of liquid core	4000 (Turcotte, Schubert, 2002)	4.762	8.816	1.189	840	0.894
Верхняя часть жидкого ядра Upper part of the liquid core	3683	2.708	7.422		1360	0.618

*Примечание.* I, II — соответственно твёрдая и жидкая части в рамках двухслойной модели ядра.

*Note.* I, II — solid and liquid parts within the framework of a two-layer core model respectively.

Модельная мощность следующего за первым слоя (переходная зона — 1, табл. 4) в условиях устойчивого динамического равновесия может отвечать  $1215/1.618 = 751$  км. А поскольку температура внутри твёрдой части ядра в двухслойной модели близка к  $5400$  °С (Alfè, Gillan, Price, 2002), то геотермический градиент к переходной зоне — 2 составит  $5400/751 = 7.19$  °С/км.

Температура переходной зоны — 2 принята за  $4000$  °С (Turcotte, Shubert, 2002). Модельную мощность переходной зоны — 2 можно вывести из мощности жидкого слоя в  $2200$  км, предположив наличие устойчивого динамического равновесия между ним и переходной зоной — 2. Отсюда можно перейти к мощности жидкого ядра в рамках четырёхслойной модели —



$2200 \text{ км} / 1.618 = 1360 \text{ км}$ . А мощность самой переходной зоны — 2 составит  $1360 \text{ км} / 1.618 = 840 \text{ км}$ . Зная температуру переходного слоя — 2, можно определить и градиент температуры в нём —  $4000 \text{ }^\circ\text{C} / 840 \text{ км} = 4.762 \text{ }^\circ\text{C}/\text{км}$ .

## Заключение

Единство связи свойств и эволюции системы (Земли) и её подсистем (геосфер) даёт возможность оценить их динамическое состояние путём исследования одного или нескольких параметров самой системы в крайних отношениях к золотым числам.

Поскольку средняя плотность вещества Земли ( $5.513 \text{ г}/\text{см}^3$ ) как системы выводится из плотностей слагающих её подсистем геосфер, то оценочный параметр средней плотности Земли должен отражать динамику изменения плотностей вещества во всем ряду геосфер. Проверка этого предположения показала следующее.

1. Экспериментально известные вариации отношений плотности вещества геосфер оказались близкими (отклонения в пределах 1.5—2.8 %), находясь внутри крайних модельных оценок, что даёт основание предполагать возможное достижение между геосферами устойчивого динамического равновесия вблизи золотого числа 1.618.

2. Парадокс моделей 1, 2 состоит в том, что с их помощью вскрывается опосредованная историческая связь формирования плотности ядра Земли и земной коры (табл. 2, а (1, 2); d (1, 2)). Подобная связь вскрывается также между плотностью вещества нижней мантии на границе с ядром Земли и плотностью современных осадочных пород (табл. 2, b (1, 2)); между плотностью нижней мантии и средней плотностью Земли (табл. 2, e (1, 2)). Т. е. обе модели золотых пропорций выявляют единство природы вещества всех геосфер, как бы далеко они ни были разведены: от земной коры до ядра Земли (Галимов, 1998). В этом смысле гипотеза «холодной Земли» (Войткевич и др., 1990; Джеффрис 1960; Рингвуд, 1982) хуже согласуется с моделью историзма формирования вещества геосфер, чем гипотеза «горячей Земли» (Шкодзинский, 2014).

Важное практическое следствие, вытекающее из модели непрерывной дифференциации вещества геосфер и Земли в ходе всей геологической истории Земли, состоит в следующем.

1. При формировании эндогенных рудных месторождений источник металлов в большинстве случаев был гетерогенным, включавшим не только коровое, но и мантийное вещество (Кокин, 1999; Бортников и др., 2007; Кулиш, Парада, 2009; Parada, Stolyarov, 2012; Парада, Артемов, 2023).

2. Основным источником воды в Мировом океане могла быть первичная ювенильная вода, образовавшаяся в глубинных геосферах за счёт кислорода и водорода при дегазации магм на раннем этапе геологической истории (Галимов, 1988). При этом роль кометного вещества в формировании Мирового океана, скорее всего, была ничтожной. В противном случае изотопный состав кислорода воды отвечал бы первично-космическому изотопному составу кислорода, а на самом деле это не так (Ферронский, Поляков, 1983).

3. Земная кора есть итог длительной истории глобальной геохимической дифференциации первичного вещества при участии воды Мирового океана (Щербаков, 1965; Щербаков, 1976; Войткевич и др., 1990).

4. Значительное отклонение по плотности и температуре (более 20 %) от состояния, близкого к устойчивому динамическому равновесию, наблюдается на границе верхней и нижней мантий (слой Голицына). Ощутимые несоответствия устойчивому динамическому равновесию по плотности вещества отмечают для ядра Земли.

5. В рамках принятой нами модельной оценки плотности вещества в ядре Земли с возможным наличием устойчивого динамического равновесия между твёрдой и жидкой его фазами существует несколько слоев с плотностью ( $\text{г}/\text{см}^3$ ): 26.96—16.05; 14.493; 8.816—7.422. Между этими слоями устанавливается состояние, близкое к устойчивому динамическому равновесию, в условиях которого не могут возникать существенные геодинамические изменения, ибо отклонение от равновесия неизбежно влечет за собой изменение плотности вещества в других геосферах. Неравновесность на границе жидкого ядра и нижней мантии может провоцировать изменение состава твердой и жидкой фаз в ядре, глобальную тектономагматическую активность, изменение магнитного поля Земли, перемещение магнитных полюсов. Выявление высоких модельных значений плотности вещества в ядре Земли (26.96—16.05  $\text{г}/\text{см}^3$ ) может указывать на наличие в его составе значительных концентраций тяжёлых металлов, таких как золото и платиноиды.

6. Модельная оценка средней плотности и температуры геосфер свидетельствует о том, что в настоящее время внутренняя структура Земли в целом находится в состоянии, близком к устойчивому геодинамическому и термодинамическому равновесию, со средним отклонением от него 2.72 %. Поскольку Земля когда-то неизбежно потеряет свою геологическую активность, то рассчитанный модельный уровень современного отклонения от устойчивого геодинамического равновесия геосфер даёт возможность оценить модельное время завершения эпохи современной геологической истории. Можно предполагать, что относительное равновесие внутренней структуры Земли будет продолжаться ещё около 124 млн лет, вплоть до начала формирования новой Пангеи Проксима, которая, по Кристофору Скоттезе, возникнет через 200 млн лет.

## Литература / References

- Бортников Н. С., Гамянин Г. Н., Викентьева О. В., Прокофьев В. Ю., Алпатов В. А., Бахарев А. Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе Неждановского золоторудного месторождения (Саха-Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49. № 2. С. 99—145.
- Bortnikov N. S., Gamyarin G. N., Vikentyeva O. V., Prokofiev V. Yu., Alpatov V. A., Bakharev A. G. Composition and origin of fluids in the hydrothermal system of the Nezhda gold deposit (Sakha-Yakutia, Russia). *Geology of ore deposits*, 2007, V. 49, No. 2, pp. 99—145. (in Russian)
- Бурмин В. Ю. Распределение плотности и упругих параметров в Земле // Физика Земли. 2006. № 7. С. 76—88.



- Burmin V. Yu. Distribution of density and elastic parameters in the Earth. *Physics of the Earth*, 2006, No. 7, pp. 76–88. (in Russian)
- Бурмин В. Ю. Строение ядра и мантии Земли по данным мировой сети сейсмических данных // Геофизические исследования. 2010. Т. 11. С. 41–71.
- Burmin V. Yu. The structure of the Earth's core and mantle according to the global seismic data network. *Geophysical Research*, 2010, V. 11, pp. 41–71. (in Russian)
- Витязев А. В., Люстих Е. Н., Николаичик В. В. Проблема образования ядра и мантии Земли // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1977. № 8. URL: <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/inbox/5226/4.pdf>
- Vityazev A. V., Lyustik E. N., Nikolaichik V. V. The problem of the formation of the Earth's core and mantle. *Proc. AS USSR. Physics of the Earth*, 1977, No. 8.
- Войткевич Г. В., Кокин А. В., Мирошников А. Е., Прохоров В. Г. Справочник по геохимии. М.: Недра, 1990. 480 с.
- Voitkevich G. V., Kokin A. V., Miroshnikov A. E., Prokhorov V. G. *Handbook of Geochemistry*. Moscow: Nedra, 1990, 480 p. (in Russian)
- Галимов Э. М. Нарастание ядра Земли как источник ее внутренней энергии и фактор эволюции окислительно-восстановительного состояния мантии // Геохимия. 1998. № 8. С. 755–758.
- Galimov E. M. Growth of the Earth's core as a source of its internal energy and a factor in the evolution of the redox state of the mantle. *Geochemistry*, 1998, No. 8, pp. 755–758. (in Russian)
- Галимов Э. М. О возникновении и эволюции океана по данным об изменениях  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  осадочной оболочки Земли в ходе геологического времени // Доклады АН СССР. 1988. Т. 299. № 4. С. 977–981.
- Galimov E. M. Occurrence and evolution of the ocean based on data on changes in the  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  sedimentary shell of the Earth during geological time. *Doklady Earth Sciences*, 1988, V. 299, No. 4, pp. 977–981. (in Russian)
- Гутенберг Б. Физика земных недр. М.: ИЛ, 1963. 264 с.
- Gutenberg B. *Physics of the earth's interior*. Moscow: IL, 1963, 264 p. (in Russian)
- Джеффрис Г. Земля, её происхождение, история и строение. М.: ИЛ, 1960. 485 с.
- Jeffries G. *Earth, its origin, history and structure*. Moscow: IL, 1960. 485 pp. (in Russian)
- Кокин А. В. Об устойчивом динамическом равновесии физико-химических свойств минералов в составе пород и оболочек Земли // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2022). Сыктывкар: Геопринт. 2022. С. 134–135.
- Kokin A. V. Stable dynamic equilibrium of the physical and chemical properties of minerals in the composition of rocks and shells of the Earth. *Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy (Yushkin Readings — 2022)*. Syktyvkar: Geoprint, 2022, pp. 134–135. (in Russian)
- Кокин А. В. Эволюция кремнезёма в составе горных пород в истории Земли и внутренних планет Солнечной системы // Уральский геологический журнал. 2023. № 2 (152). С. 36–55.
- Kokin A. V. Evolution of silica in the composition of rocks in the history of the Earth and the inner planets of the Solar System. *Ural Geological Journal*, 2023, No. 2 (152), pp. 36–55. (in Russian)
- Кокин А. В., Кокин А. А. Золотое сечение и эволюция (введение в общую теорию нелокальной эволюции). М.: Информ-Право, 2022. 231 с.
- Kokin A. V., Kokin A. A. *The golden ratio and evolution (introduction to the general theory of nonlocal evolution)*. Moscow: Inform-Pravo, 2022, 231 p. (in Russian)
- Кокин А. В., Сухоруков В. И., Шишигин П. Р. Региональная геохимия (Южное Верхоянье). Ростов н/Д: РостИздат, 1999. 427 с.
- Kokin A. V., Sukhorukov V. I., Shishigin P. R. *Regional geochemistry (Southern Verkhoyansk)*. Rostov-on-Don: RostIzdat, 1999, 427 p. (in Russian)
- Кирдяшкин А. Г. Тепловые гравитационные течения и теплообмен в астеносфере. Новосибирск: Наука, 1989. 81 с.
- Kirdyashkin A. G. *Thermal gravitational currents and heat transfer in the asthenosphere*. Novosibirsk: Nauka, 1989, 81 p. (in Russian)
- Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований / Под ред. Н. П. Лаверова и В. П. Орлова. М.: МФ Технонефтегаз, 1998. 260 с.
- Kola superdeep borehole. *Scientific results and research experience* (edited by N. P. Laverov and V. P. Orlov). Moscow: MF Tekhnoneftegaz, 1998, 260 p. (in Russian)
- Кузнецов В. В. Земля как термодинамическая система // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 7. С. 987–1007.
- Kuznetsov V. V. Earth as a thermodynamic system. *Geology and Geophysics*, 1998, V. 39, No. 7, pp. 987–1007. (in Russian)
- Кулиш Е. А., Парада С. Г. Поведение золота и других рудообразующих элементов в условиях метаморфизма пород черносланцевых комплексов // Минералогический журнал. 2009. Т. 31. № 2 (160). С. 92–101.
- Kulish E. A., Parada S. G. Behavior of gold and other ore-forming elements under the conditions of metamorphism of rocks of black shale complexes. *Mineralogical Journal*, 2009, V. 31, No. 2 (160), pp. 92–101. (in Russian)
- Лисицын А. П. Потоки вещества и энергии во внешних и внутренних сферах Земли // Глобальные изменения природной среды. М.: СО РАН; Гео, 2001. С. 163–248.
- Lisitsyn A. P. Flows of matter and energy in the external and internal spheres of the Earth. *Global changes in the natural environment*. Moscow: SB RAS, "Geo" branch, 2001, pp. 163–248. (in Russian)
- Ломизе М. Г., Хаин В. Е. Геотектоника с основами геодинамики. 2-е изд. М.: Университет, 2005. 560 с.
- Lomize M. G., Khain V. E. *Geotectonics with the basics of geodynamics*. 2nd ed. Moscow: Book house "University", 2005, 560 p. (in Russian)
- Парада С. Г., Артемов И. А. Литогенетическая концепция золотоносности черносланцевых толщ и ее приложение к рудным районам Юга России // Геология и геофизика юга России. 2023. Т. 13. № 4. С. 6–17.
- Parada S. G., Artemov I. A. Lithogenetic concept of gold content of black shale strata and its application to the ore regions of the South of Russia. *Geology and Geophysics of the South of Russia*, 2023, V. 13, No. 4, pp. 6–17. (in Russian)
- Параев В. В. Вещественно-энергетический обмен геосфер как форма планетарного метаболизма // Динамика и взаимодействие геосфер Земли: Материалы Всерос. конф. с междунар. уч. Томск: ЦЕТИ. 2021. Т. 1. С. 89–92.
- Paraev V. V. Matter-energy exchange of geospheres as a form of planetary metabolism. *Dynamics and interac-*



- tion of the Earth's geospheres: Proceedings of the All-Russian conference with international participation. Tomsk: CETI, 2021, V. 1, pp. 89–92. (in Russian)
- Пуцаровский Ю. М. Сейсмомография и структура мантии: Тектонический ракурс // Доклады РАН. 1996. № 6. С. 805–809.
- Pushcharovsky Yu. M. Seismic tomography and mantle structure: Tectonic perspective. Doklady of Earth Sciences, 1996, No. 6, pp. 805–809. (in Russian)
- Рингвуд А. Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982. 293 с.
- Ringwood A. E. Origin of the Earth and Moon. Moscow: Nedra, 1982, 293 p. (in Russian)
- Скуфьин П. К., Лютов В. П., Яковлев Ю. Н., Смирнов Ю. П., Глухов Ю. В., Котова Е. Н. Свойства и структурные особенности породообразующих минералов раннепротерозойских осадочных пород из разреза СГ-3 и их поверхностных гомологов // Вестник МГТУ. 2007. Т. 10. № 1. С. 61–79.
- Skufin P. K., Lyutov V. P., Yakovlev Yu. N., Smirnov Yu. P., Glukhov Yu. V., Kotova E. N. Properties and structural features of rock-forming minerals of Early Proterozoic sedimentary rocks from the SG-3 section and their surface homologues. Bulletin of MSTU, 2007, V. 10, No. 1, pp. 61–79. (in Russian)
- Сорохтин Н. О. Сорохтин О. Г. Теория развития Земли: происхождение, эволюция и трагическое будущее. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 752 с.
- Sorokhtin N. O., Sorokhtin O. G. The theory of the development of the Earth: origin, evolution and tragic future. Moscow-Izhevsk: Research Center "Regular and Chaotic Dynamics", 2010, 752 p. (in Russian)
- Стрекопытов В. Миллиарды тонн золота и платины. Кому достанутся космические богатства // РИА Новости: офиц. сайт. 26.07.2022. URL: <https://ria.ru/20220726/asteroid-1804817159.html> (дата обращения 01.03.2024)
- Strekoptytov V. Billions of tons of gold and platinum. Who will get the space riches. RIA Novosti: official website. 26.07.2022.
- Ферронский В. И., Поляков В. А. Изотопия гидросферы. М.: Наука, 1983. 280 с.
- Ferronsky V. I., Polyakov V. A. Isotopy of the hydrosphere. Moscow: Nauka, 1983, 280 p. (in Russian)
- Физика геосфер: Материалы XIII Всероссийского симпозиума. Владивосток, 2023. 407 с.
- Physics of geospheres: Proc. of the 13<sup>th</sup> All-Russian Symposium, Vladivostok, 2023, 407 p. (in Russian)
- Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы). М.: Мир, 1972. 398 с.
- Horn R. Marine chemistry (structure of water and chemistry of the hydrosphere). Moscow: Mir, 1972, 398 p. (in Russian)
- Шкодзинский В. С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции). Якутск: ИДСВФУ, 2014. 452 с.
- Shkodzinsky V. S. Petrology of the lithosphere and kimberlites (model of hot heterogeneous accretion). Yakutsk: NEFU, 2014, 452 p. (in Russian)
- Щербаков Ю. Г. Геохимическая эволюция и рудные формации // Проблемы эндогенного рудообразования и металлогении. Новосибирск: Наука, 1976. С. 217–229.
- Shcherbakov Yu. G. Geochemical evolution and ore formations. Problems of endogenous ore formation and metallogeny. Novosibirsk: Nauka, 1976, pp. 217–229. (in Russian)
- Щербаков Ю. Г. Периодичность кларковых отношений и геохимическая эволюция земной коры // Докл. АН СССР. 1965. Т. 161. № 2. С. 451–455.
- Shcherbakov Yu. G. Periodicity of Clarke Relations and Geochemical Evolution of the Earth's Crust. Doklady Earth Sciences, 1965, V. 161, No. 2, pp. 451–455. (in Russian)
- Alfè D., Gillan M., Price G. D. Composition and temperature of the Earth's core constrained by combining ab initio calculations and seismic data // Earth and Planetary Science Letters. 2002. V. 195. No. 1–2. P. 91–98.
- Alfè D., Gillan M. J., Vocadlo L., Brodholt J., Price G. D. The ab initio simulation of the Earth's core // Philosophical Transaction of the Royal Society of London. 2002. T. 360. No. 1795. P. 1227–1244.
- Hirahara K. Seismic structure near the inner core-outer core boundary (англ.) // Geophys. Res. Lett. // American Geophysical Union. 1994. V. 51. No. 16. P. 157–160.
- Fibonacci's Liber Abaci: A Translation into Modern English of the Book of Calculation // Sources and Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences. 2002. 636 p.
- Parada S.G., Stolyarov V.V. Relation of gold mineralization on the Northern Fflank of the Tyrnyauz deposit to intrusive complexes, Kbardino-Balkar Republic // Doklady Earth Sciences. 2012. T. 445. No. 2. С. 939–942.
- Robertson E.C. The Interior of the earth. U. S. Geological Survey, 2011. <https://doi.org/10.3133/7000023>.
- Sobolev A.V., Asafov E., Gurenko A.A., Arnd N., Batanova G., Portnyagin M., Garbe-Schonberg D., Wilson A.H., Byerly G., Batanova V. Deep hydrous mantle reservoir provides evidence for crustal recycling before 3.3 billion years ago // Nature. 2019. V. 571. P. 555–559
- Tao Wang, Xiaodong Song, Han H. Xia. Equatorial anisotropy in the inner part of Earth's inner core from autocorrelation of earthquake coda / Nature Geoscience. 2015. doi: 10.1038/ngeo2354 (Published online 09 February 2015).
- Turcotte D. L., Schubert G. Geodynamics. 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge. 2002 // [dx.doi.org/10.1017/CBO9780511807442](https://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511807442).

Поступила в редакцию / Received 18.04.2024



## Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 549.892

DOI:10.19110/geov.2024.5.3

### Мел-палеогеновые ископаемые смолы арктической части Дании (о. Гренландия)

**О. В. Мартиросян**Геологический институт РАН, Москва, [mov@ginras.ru](mailto:mov@ginras.ru)

В статье представлен обзор современных знаний о находках ископаемых смол на арктической территории Дании (о. Гренландия). На основе малоизвестных и фрагментарных документов кратко дана история их изучения, отмечено первенство исследователей, упоминавших об ископаемых смолах, приведены местонахождения ископаемых смол, дана оценка уровня их изученности. Представлено сравнительное описание ИК-спектров цедарита (чемавинита), шрауфита, валховита и смолы с о. Заячий. Показана схожесть последней с цедаритом (чемавинитом).

**Ключевые слова:** Арктика, Дания, ископаемые смолы, цедарит (чемавинит), шрауфит, валховит

### Cretaceous-palaeogene fossil resins of the arctic part of Denmark (Greenland Island)

**O. V. Martirosyan**

Geological Institute RAS, Moscow

The article presents modern outlook on overview of the current knowledge about the first findings of fossil resins in the Arctic territory of Denmark (Greenland). On the basis of obscure and fragmentary documents, the history of their study is briefly given, the primacy of researchers who mentioned fossil resins is noted, locations of fossil resins are given, and the level of their study is assessed. A comparative description of IR-spectra of cedarite (chemawinite), shrauphite, valhovite and resin from Hare Island is given. The similarity of the latter with cedarite is shown.

**Keywords:** Arctic, Denmark, fossil resins, cedarite (chemawinite), shrauphite, valhovite

#### Введение

Согласно преобладающему в международно-правовой науке определению, Арктика — регион, расположенный в северной части Земли, включает в себя центральную часть Северного Ледовитого океана, окружающие его региональные и арктические моря и районы суши, расположенные к северу от Северного полярного круга (Berkman, Vylegzhanin, 2013). Дания в свои арктические территории включает о. Гренландия и Фарерские о-ва (Denmark..., 2011). Остров Гренландия является одним из нескольких мест в мире, где были найдены ископаемые смолы мел-палеогенового периода (Langenheim, 1969; Богдасаров, 2005; Poulin, Helwig, 2016). Ископаемые смолы — это продукты трансформации экссудатов хвойных деревьев, существовавших на Земле миллионы лет назад и сохранившиеся до наших дней в основном за счет процессов полимеризации, изомеризации, циклизации и сшивания соединений, происходящих во время их диагенетических и/или катагенетических изменений.

Среди имеющихся немногочисленных обзорных работ по ископаемым смолам (Fraquet, 1987; Poinar,

1992; Tappert et. al., 2013; Seyfullah et.al., 2018) информация об ископаемых смолах с о. Гренландия не приводится. Сведения о них отрывочны и случайны, охарактеризованы единичными непредставительными анализами, разбросанными по отчетам, не всегда легко доступным. Сложности в обобщении результатов исследований связаны с появлением в литературе терминологических неточностей относительно вида ископаемых смол, а именно объединением всех ископаемых смол под термином «янтарь-amber», что приводит к усреднению характеристик различных видов смол и к неправильным оценкам территории на янтареносность. Янтарь — это собирательный, не вполне определённый в классификационном отношении термин, очень часто используемый как в российской, так и зарубежной научной литературе.

В данной работе нами приведено первое обобщающее исследование по ископаемым смолам арктической части Дании (о. Гренландия) и дана оценка уровня их изученности. Статья не претендует на полноту, лишь намечает некоторые районы распространения ископаемых смол.

**Для цитирования:** Мартиросян О. В. Мел-палеогеновые ископаемые смолы арктической части Дании (о. Гренландия) // Вестник геонаук. 2024. 5 (353). С. 29–35. DOI: 10.19110/geov.2024.5.3

**For citation:** Martirosyan O. V. Cretaceous-palaeogene fossil resins of the arctic part of Denmark (Greenland Island). Vestnik of Geosciences, 2024, 5 (353), pp. 29–35, doi: 10.19110/geov.2024.5.3

## Особенности геологического строения территории Западной Гренландии

Территория, расположенная между 69 и 71° северной широты — единственный мел-палеогеновый осадочный бассейн на западной части о. Гренландия, где были обнаружены находки ископаемых смол. Данная территория представлена осадочной толщей мощностью более 2 км, перекрытой базальтовой пачкой в несколько километров, которая перекрывает осадочные породы, находясь непосредственно на докембрийских породах. В течение многих лет эти отложения привлекали внимание геологов всего мира благодаря растительным остаткам (Heer, 1868; Seward, 1924, 1926, Koch, 1963). Исследование о. Гренландия началось в XVII в. и проводилось сначала англичанами, а после колонизации острова — немцами, датчанами и норвежцами. Первые геологические исследования осуществлялись немецким полярным исследователем К. Л. Гизеке (Karl Ludvig Giesecke, 1761—1833), датским путешественником Х. Ринком (Hinrich Johannes Rink, 1819—1893) и шведским геологом Н. Норденшельдом (Nils Adolf Erik Nordenskiöld, 1832—1901), которые подробно описали этот район (Giesecke, 1816; Rink, 1852; Nordenskiöld, 1871). Отчет о более поздних исследованиях, вплоть до 1968 года, можно найти в работе А. Rosenkrantz (1970). Обстановка осадконакопления обсуждалась в работах Sehiener (1975) и Henderson et al. (1976). Подробное изложение исследований о морских микрофоссилиях принадлежит Steenstrup (1874), Ravn (1918), о датировках свит — Rosenkrantz (1970), Dam et al. (2009), об угольном потенциале — Shekhar et al. (1982). Анализ коллекций морских окаменелостей, собранных различными экспедициями, подтвердил, что осадочные слои в Западной Гренландии должны быть позднемелового возраста (Schlüter, 1874; Heim, 1910; Ravn, 1918) (рис. 1). По мнению Дж. П. Равна (Ravn, 1918), появление американских верхнемеловых видов в гренландской фауне позволило предположить, что в позднемеловое время, возможно, существовала морская связь между Западной Гренландией и восточной частью Канады.

На основании изученной флоры с западной части о. Гренландия швейцарский палеоботаник О. Геер (Oswald von Heer, 1809—1883), пришел к выводу о раннемеловом (аптском) возрасте отложений. Однако британский ботаник А. Ч. Сьюард (Seward, 1926; Seward, Conway, 1935), определивший гренландскую флору по новым сборам и частично пересмотревший определения О. Геера, указал, что возраст всей меловой толщи с растительными остатками является сеноман-туронским.

Заметим, что выходы мел-палеогеновых отложений встречаются на востоке о. Баффин (Burden, Langille 1990) и дальше на север в Арктической Канаде на о. Байлот, на о. Элсмир и на о. Сомерсет (Harrison et al., 1999). В них также известны находки ископаемых смол, для которых характерно совместное нахождение с бурым углем (Fortier et al., 1963; Zobel, 1999; Poulin, Helwig, 2016).

Наиболее древние из позднемеловых пород Западной Гренландии, содержащие ископаемые смолы, представлены на северном побережье полуострова Нууссуак и обнажениях по берегам в районе мыса Экоргфат и выделены в *свиту коме* (сеноман) (Байковская, 1956; Dam et al., 2009). Отложения представлены гнейсами, которые перекрыты слоями серо-

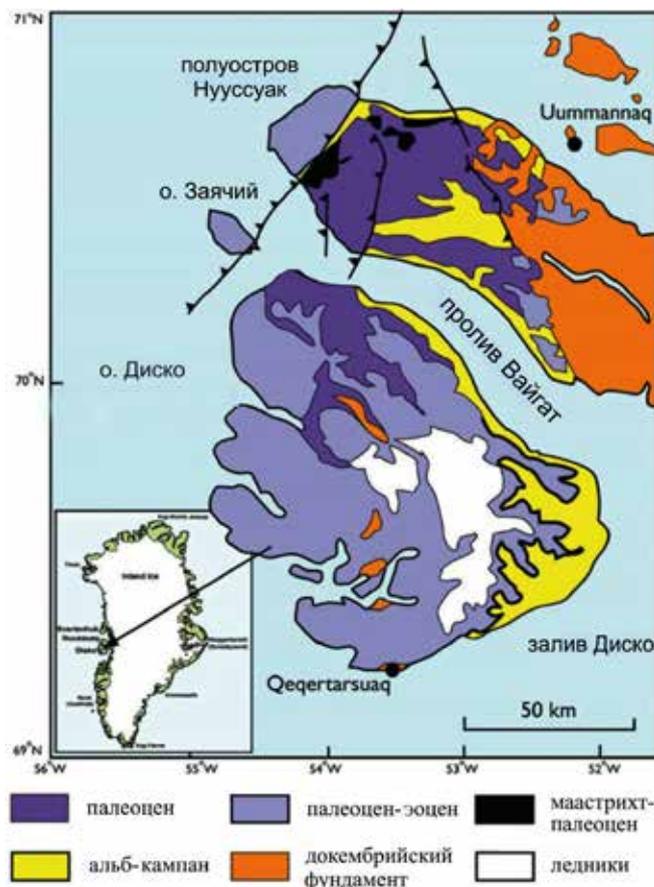


Рис. 1. Геологическая карта полуострова Нууссуак, о. Диско и о. Заячий (Dam et al., 2009)

Fig. 1. Geological map of the Nuussuaq Peninsula, Disko Island and Hare Island

вато-черных сланцев и песчаников, которые содержат большое количество измельченных растительных остатков. В сланцах и песчаниках нередки прослои угля с включениями ископаемой смолы.

Вышележащие отложения, состоящие из черных и серых сланцев, выделенные в *свиту Атане* (сеноман — турон), распространены на юге полуострова Нууссуак (между Атанекердлуком и Атаа), северном (Куллиссат), и восточном (Уджарарсусук) и южном (Qeqertarsuaq) побережье о. Диско (Dam et al., 2009). Атанская свита состоит из аргиллитов, песчаников и угольных пластов. Песчаники обычно мелко- и среднезернистые, хорошо отсортированные, состоят из кварца, каолинизированного полевого шпата, небольшого количества слюды, а также измельченных растительных обломков. Аргиллиты слабослоистые, с каолинитом в качестве доминирующего глинистого минерала и небольшим количеством слюды. Уголь с вкраплением ископаемой смолы переслаивается с углеродистыми и песчаными аргиллитами. В некоторых горизонтах наблюдаются угольные шарики, часто встречаются фрагменты древесины.

На востоке о. Диско (Флаккерхук) отложения, перекрывающие свиту Атане и представленные аргиллитами и тонкозернистыми слабосцементированными песчаниками, выделены в *атаникердлуковскую свиту* (ранний — средний палеоцен) (Storey et al., 1998; Dam et al., 2009). В песчанике изредка встречаются линзы угля толщиной 1—2 см вместе с корневищами, ствола-



ми деревьев и зернами ископаемой смолы. Уголь в основном стекловидный (Shckhar et al., 1982), иногда переслаивается с неравномерными слоями ила. Встречаются «угольные шары» толщиной 30–40 см, внутри которых часто видны сгнившие деревья.

На о. Заячий отложения с ископаемыми смолами, представленные песчаниками и аргиллитами, часто туфогенного происхождения, выделены в *свиту харен* (палеоцен-эоцен) (Koch, 1963; Hald, Pedersen, 1975; Dam et al., 2009).

### Местонахождения ископаемых смол о. Гренландия

Несмотря на то, что западную часть о. Гренландия посещало большое количество экспедиций, первые письменные упоминания о находке ископаемой смолы были приведены в 1811 г. К. Л. Гизеке. Во время путешествия по Гренландии (1806–1813), он указал, что в юго-восточной части о. *Заячий* в пластах угля совместно с обугленной древесиной (рис. 2, 1) содержится «медово-жёлтый янтарь» (Giesecke, 1816, p. 13). В 1852 г. Х. Ринк, проводивший геологические и гляциологические исследования, впервые нашел зерна ископаемой смолы на *полуострове Нууссуак* в районе *Атанекердлук* (рис. 2, 2). Он отметил, что большое количество смолы находилось в сильно блестящем угле (Rink, 1852).

В последующие годы в нескольких местах данного региона, в основном в восточной части о. Диско, на о. Заячий и на юге полуострова Нууссуак (Атанекердлук), различными экспедициями были собраны коллекции ископаемых растений, которые затем описал О. Геер (1868). Эти находки вызвали настолько большой интерес, что в 1867 г. для сбора новых материалов была отправлена британская экспедиция под руководством Э. Уимпера (Edward Whymper, 1840–1911). Он подтвердил находку ископаемой смолы в этом районе, написав, что среди ископаемых растений, древесных сучьев совместно с бурым углем встречались «небольшие кусочки янтаря, самый крупный из которых был размером с обычную горошину» (Whymper, 1869, p. 5).

В 1897 г., во время арктической экспедиции Р. Пири (Robert Edwin Peary, 1856–1920), датский геолог К. Стенструп (Knud Johannes Vogelius Steenstrup, 1842–1913) сообщил о находке ископаемой смолы на противоположной стороне полуострова Нууссуак в районе *мыса Экоргфат* (рис. 2, 3) (White, Schuchert, 1897).

Совместно с бурым углем, древесиной и обугленными растениями зерна ископаемой смолы были найдены на побережье в нескольких северо-восточных районах о. *Диско*. В 1811 г. Ч. Гизеке первым упомянул, что в районе п. Куллиссат (рис. 2, 4) «обычный бурый уголь чередуется с битуминозной древесиной. Янтарь определенно смешивается с обоими» (Giesecke, 1878, p. 262). Добыча угля здесь велась с 1924 по 1972 гг. Сейчас поселок заброшен. В 1867 г. Э. Уимпер подтвердил находку ископаемой смолы п. Куллиссат и указал новые места: у населенных пунктов *Унартуварсока* (рис. 2, 5), *Уджарарсусук* (рис. 2, 6) и на побережье между *Флаккерхуком* (рис. 2, 7) и *Кекертарсуак* (рис. 2, 8) (Whymper, 1869). Кроме того, зерна ископаемых смол он получил от туземцев, которые нашли их в районе *Исунгоак* (рис. 2, 9). Э. Уимпер отметил, что ископаемая смола «нигде не встречалась в изобилии» (Whymper, 1869, p. 5).

### Изученность ископаемых смол о. Гренландия

Сведения по изучению находок ископаемых смол о. Гренландия представлены в табл. 1.

В 1866 г. венгерский химик-технолог В. Варта (Wartha Vince, 1844–1914) первым привел описание смолы с о. Заячий: «размером от горошины до просяного зерна и даже мельче; от медово-желтого до беловато-желтого и гиацинтового-красного цвета, имеет удельный вес 1.057». Он предположил, что «наличие янтарной кислоты делает весьма вероятным, что эта смола является настоящим янтарём» (Wartha, 1866, s. 286).

Экспедиция 1870 г. Н. Норденшельда собрала большую коллекцию окаменелых растений, в том числе и образцы ископаемых смол на о. Заячий. Он передал их финскому химику Й. Хидениусу (Johan Jakob Chydenius, 1836–1890), который кратко их описал, привел элементный анализ и поведение при нагревании.

Это были округлые хрупкие зерна (до 1.5 см), непрозрачные, от оранжево-красного до бурого цвета, включенные в бурые угли. Из-за малого количества он не смог провести еще какие-либо исследования, однако на основании этих данных полагал, что смола с о. Заячий не является янтарем (сукцинитом), а по химическим свойствам более схожа с ретинитом р. Мезень (Архангельская область) и Аляски (п-ов Кенай), но при

**Рис. 2.** Места находок ископаемых смол арктической части Дании (о. Гренландия): 1 — о. Заячий; 2 — Атанекердлук; 3 — мыс Экоргфат; 4 — Куллиссат; 5 — Унартуварсок; 6 — Уджарарсусук; 7 — Флаккерхук; 8 — Кекертарсуак; 9 — Исунгоак

**Fig. 2.** Locations of fossil resin in the Arctic part of Denmark (Greenland Island): 1 — Hare Island; 2 — Atanekerdluk; 3 — Cape Ekorgfat; 4 — Qullissat; 5 — Unartuvarsok; 6 — Ujararsusuk; 7 — Flakkerhuk; 8 — Qeqertarsuaq; 9 — Isungoak



Таблица 1. Находки ископаемых смол арктических территорий Дании

Table 1. Fossil resins from the Arctic Territories of Denmark

Дата Date	Автор первого упоминания Original author	Местонахождение Location	Описание Description	Возраст Age	Разновидность Variety	Возможная ботаническая принадлежность Possible botanic affinity	Вмещающая порода Host rocks	Элементный анализ*, % Elemental analysis
1811	К. Л. Гизеке K. L. Giesecke	о. Заячий Hare Island	округлые, до 1.5 см, хрупкие зерна от оранжево-красного до бурого цвета Rounded to 1.5 cm fragile grains from orange-red to brown color	позднемиоценовой / палеоген Late Cretaceous / Paleogene	шрауфит / цедарит (чемавениит) / валховит Shraufite / cedarite (chemavenite) / valchovite	<i>Pinaceae</i>  <i>Artaucariaceae</i>	бурый уголь brown coal	C — 73.47 H — 10.20 N+O+S — 16.33
1858	Х. Ринк H. Rink	о. Диско, Кудлигат Disco Island, Kudlisat	—	сеноман / турон Cenomanian / Turonian	—	—	бурый уголь brown coal	—
1867	Э. Уимпер E. Whymper	п-ов Нуусуак, Атанекуддук Nuussuaq Peninsula, Atanekudluk	мелкий Small	сеноман / турон Cenomanian / Turonian	—	—	уголь coal	—
1868	К. Й. Ф. Стенstrup K. J. F. Steenstrup	п-ов Нуусуак, мыс Экоргфат Nuussuaq Peninsula, Cape Ekorgfat	—	позднемиоценовой / палеоген Late Cretaceous / Paleogene	—	<i>Sequoia</i> <i>Taxodium</i> <i>Agathis</i>	уголь coal	—

Примечание: «—» нет информации, \* — данные Chydenius (1875).

Note: “—” no information, \* — data (Chydenius, 1875).



этом отличается от них высоким содержанием кислорода (17–20 %) и наличием небольшого количества янтарной кислоты (Chydenius, 1875). В 1936 г. образцы с о. Заячий Н. А. Орловым и В. А. Успенским были диагностированы как «гренландский шрауфит». В части элементного состава для него характерно высокое содержание кислорода и низкое содержание водорода (Орлов, Успенский, 1936).

В 1867 г. Э. Уимпер всю собранную коллекцию ископаемых растений с о. Диско привез в Британский музей в Лондоне. О. Геер, изучив этот материал, сделал вывод, что поскольку самыми распространенными деревьями на острове были *Sequoia Couttsiae*, болотный кипарис *Taxodium distichum miocenium* и *Agathis (Dammara)*, то они были вероятными смолопроизводящими деревьями, которые, росли здесь на болотистой почве (Heer, 1869). А. Ч. Сьюард сравнивал гренландскую флору с восточноамериканской сеноманской флорой Раритана (штат Нью-Джерси, США), а также отмечал близость гренландских хвойных к сахалинским. Имеются единичные результаты термического анализа образца из Уджарарсусук (о. Диско) (Broughton, 1974). Немецкий химик Г. Штедлер (Georg Andreas Karl Städel, 1821–1871) обнаружил, что свойства ископаемой смолы о. Заячий и о. Диско схожи. Они «имеют удельный вес 1.057, не растворимы в воде, растворимы в винном спирте и эфирах, плавятся при нагревании, приобретая запах горящего янтаря. Пары слабо окрашиваются в коричневый цвет (следы серы), сухая перегонка дала янтарную кислоту» (Heer, 1868, s. 7). Однако перечисленные физические и химические свойства не позволяют достоверно утверждать о их схожести, поскольку данные критерии не являются диагностическими.

Нет единой точки зрения о возрасте ископаемых смол Гренландии. Одни их относят к палеогеновому возрасту (Kosmowska-Ceranowicz, 1999), другие к раннемеловому (Langenheim, 1969) или позднемеловому (Stach et al., 2019).

Результаты пиролитической газовой хроматографии образца смолы из Музея естественной истории в Карсруэ (маркировка «Гренландия», без точной привязки), показали его сходство с «уральским янтарем» (Heck, 1999). Как известно, на Урале встречаются ископаемые смолы, относящиеся к шрауфиту (Мартирисян, 2020).

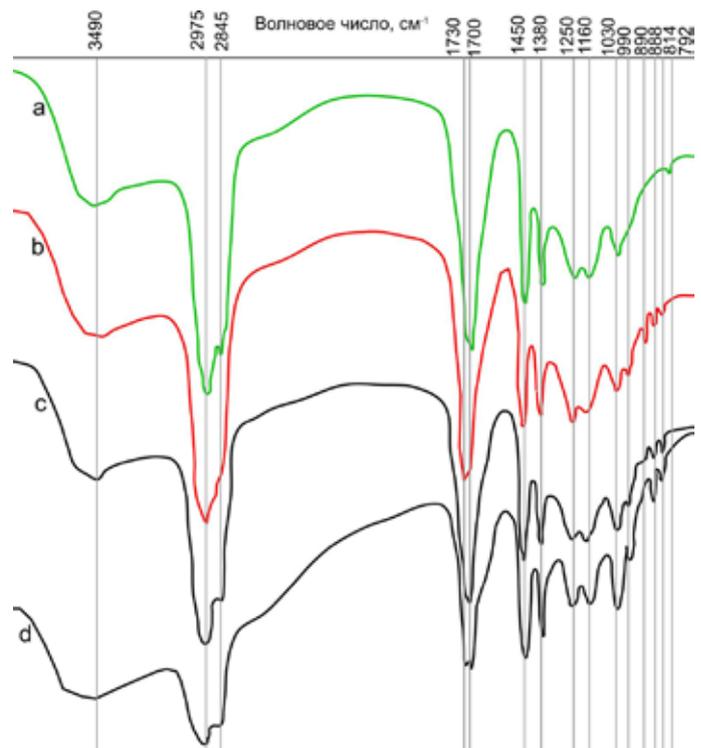
### ИК-спектроскопия

Ископаемые смолы являются сложными органическими веществами, в силу чего существуют значительные трудности при характеристике их структуры. Такие параметры, как удельный вес, плотность, показатель преломления или растворимость в различных растворителях, температура плавления и размягчения, недостаточно специфичны для выделения типов ископаемых смол. Для изучения молекулярного состава ископаемых смол чаще всего применяют ИК-спектроскопию (ИКС). Это один из фундаментальных методов, используемый с 1960-х годов, наиболее востребованный как для идентификации, так и корреляции ископаемых и современных смол. Независимо от возраста и местонахождения ископаемой смолы, спектр, полученный с помощью ИКС, представляет собой своего рода «отпечаток пальца» с полосами поглощения, отражающими основные химические компоненты, кото-

рые можно сравнить, чтобы показать сходство этих компонентов со смолами. Среди известных находок ископаемых смол о. Гренландия, только смола с о. Заячий, представленная чаще всего в собраниях различных европейских музеев, исследована методом ИКС лучше, чем другие находки, которые практически не изучены.

В отличие от Н. А. Орлова и В. А. Успенского, считавших на основании физических, химических свойств и элементного состава, что смола с о. Заячий относится к шрауфиту, В. Катинас в 1988 г. на основании ИКС-данных отнес ископаемую смолу из Гренландии (без точной привязки) к валховиту, возможный ботанический источник — *Pinaceae* (Kosmowska-Ceranowicz, Pielinska, 2018). В 1999 г. Б. Космовска-Церанович, сравнив ИК-спектры образцов о. Заячий с цедаритом (чемавенитом) из Канады (оз. Сидар), показала их сходство (Kosmowska-Ceranowicz, 1999). Заметим, что в Канаде цедарит (чемавенит) встречается не только в провинциях Минитоба (оз. Сидар) и Альберта (оз. Грасси), а также на о. Сомерсет в Канадском Арктическом архипелаге, который находится практически на одной параллели с о. Заячий (Zobel, 1999; Poulin, Helwig, 2016).

Для того чтобы установить сходство или различие ископаемой смолы о. Заячий с одним из вышеописанных



**Рис. 3.** ИК-спектры ископаемых смол: а — валховита из коллекции Музея Земли в Варшаве, б — шрауфита из проявления Вама, Румыния (Kosmowska-Ceranowicz, 1999), с — ископаемой смолы с о. Заячий (Kosmowska-Ceranowicz, 1999), d — цедарита (чемавенита) с проявления Сидар (штат Манитоба) из коллекции Яна Фудала, США

**Fig. 3.** IR-spectra of fossil resins: a — Valchovite, from the collection of the Earth Museum in Warsaw, b — Schraufite from the Vama occurrence, Romania (Kosmowska-Ceranowicz, 1999), c — Hare Island (Kosmowska-Ceranowicz, 1999), d — Cedarite, Cedar occurrence (Manitoba) from the collection of Jan Fudal, USA



видов смол (шрауфит, валховит или цедарит (чемавенит)), было проведено сравнение их ИК-спектров (рис. 3).

ИК-спектры ископаемой смолы с о. Заячий и шрауфита были взяты из литературных источников (Kosmowska-Cerapanowicz, 1999), тогда как ИК-спектры валховита и цедарита (чемавенита) получены и расшифрованы автором статьи. Анализ наших результатов сравнительного изучения ИК-спектров согласуются с данными Б. Космовской-Церанович о том, что ИК-спектр ископаемой смолы с о. Заячий схож с цедаритом (чемавенитом) (рис. 3, с, d).

Для них характерно соотношение полос карбонильной С=О-групп кислот и эфиров  $1700 > 1730 \text{ см}^{-1}$ , соотношение групп С=О-кислот и эфиров как для хрупких смол ( $1250 \approx 1160 \text{ см}^{-1}$ ), присутствие внеплоскостных деформационных колебаний связей ОН карбоновых кислот ( $980 \text{ см}^{-1}$ ), довольно интенсивной полосы при  $1027 \text{ см}^{-1}$ , которая может объясняться несколькими перекрывающимися полосами колебаний связей С=О в фенольных гидроксилах и S=O в сульфоксидных группах. Кроме того, присутствуют полосы при  $888 \text{ см}^{-1}$  экзоциклической связи типа  $>C=CH_2$  и при  $814 \text{ см}^{-1}$  группы  $>C=CH$  в цикле.

Шрауфит, в отличие от вышеописанных ископаемых смол, имеет другое соотношение полос карбонильной С=О-групп кислот и эфиров  $1700 < 1730 \text{ см}^{-1}$ , групп С=О-кислот и эфиров  $1250 > 1160 \text{ см}^{-1}$  и наличие четкой полосы при  $890 \text{ см}^{-1}$ , характерной для валентных колебаний О=О-перекисей (рис. 3, b).

Для валховита характерно присутствие на ИК-спектре связей ароматических структур (слабая полоса при  $1600 \text{ см}^{-1}$ ), а также слабой полосы при  $792 \text{ см}^{-1}$ , обусловленной внеплоскостными деформационными колебаниями С–Н в соединениях типа  $R_1R_2C=CHR_3$  (рис. 3, a). Данные полосы отсутствуют для других описываемых ископаемых смол.

## Заключение

С научной точки зрения уровень изучения ископаемых смол западной части о. Гренландия до сих пор остается крайне низким, а сведения об их находках отрывочны и случайны. Это объясняется прежде всего тем, что они находятся в отдаленном районе, куда исследователям до сих пор не так легко добраться. Возможно, поэтому они скудно представлены в различных музейных коллекциях и включают в основном смолу с о. Заячий.

Ввиду отсутствия информации о видовой принадлежности смол большинства местонахождений в Гренландии данные ископаемые смолы заслуживают углубленного изучения их физических, химических особенностей и условий образования. Это будет способствовать уточнению их классификационных признаков, а также позволит проводить корреляцию с уже имеющимися данными по ископаемым смолам других арктических регионов как зарубежья, так и России. Сведения о находках ископаемых смол о. Гренландия позволят расширить имеющуюся базу данных по смолам Арктики. По аналогии с опытом изучения местонахождений ископаемых смол России и Европы есть основания полагать, что на арктической территории Дании будет встречено несколько видов ископаемых смол.

Физико-химические исследования не совсем точно или ошибочно определённых образцов ископаемых смол часто вводят в заблуждение. Поэтому необходи-

ма ревизия образцов ископаемых смол о. Гренландия, имеющихся в коллекциях музеев. ИК-спектроскопия может помочь исправить многие ошибки, вызванные не всегда надежно установленной идентификацией. В данной работе с помощью метода ИКС нами подтверждено, что ископаемая смола с о. Заячий является цедаритом (чемавенитом).

Таким образом, ископаемые смолы о. Гренландия представляют богатый и интересный материал, который еще ожидает научной обработки.

*Работа выполнена в соответствии с темой госзадания Геологического института РАН.*

*Автор благодарит рецензентов за тщательное рассмотрение рукописи и весьма полезные замечания.*

## Литература / References

- Байковская Т. Н. Сопоставление верхнемеловых флор Северной Азии с верхнемеловыми флорами Северной Америки и Арктики // Палеоботаника. Вып. 2. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 140–164.
- Baikovskaya T. N. Comparison of the Upper Cretaceous floras of northern Asia with the Upper Cretaceous floras of North America and the Arctic. *Palaeobotany*. V. 2, Moscow, Leningrad: AS USSR, 1956, pp. 140–164. (in Russian)
- Бодасаров М. А. Ископаемые смолы Северной Евразии. Брест: БрГУ, 2005. 180 с.
- Bogdasarov M. A. Fossil resins of northern Eurasia. Brest: BrSU, 2005, 180 p. (in Russian)
- Мартиросян О. В. Есть ли янтарь на Среднем Урале? // Вестник геонаук. 2020. № 6(306). С. 27–30.
- Martirosyan O. V. Is there amber in the Middle Urals? *Vestnik of Geosciences*, 2020, No. 6(306), pp. 27–30. (in Russian)
- Орлов Н. А., Успенский В. А. Минералогия каустобиолитов. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936.
- Orlov N. A., Uspensky V. A. Mineralogy of caustobiolites. Moscow, Leningrad: AS USSR, 1936, 198 p. (in Russian)
- Berkman P. A., Vylegzhanin A. N. Environmental Security in the Arctic Ocean. Dordrecht: Springer Science + Business Media, 2013. 459 p.
- Broughton P. L. Conceptual Frameworks for Geographic-Botanical Affinities of Fossil Resins // *Canadian Journal of Earth Sciences* 1974. Vol. 11. No 4. pp. 583–594.
- Burden E., Langille A. Stratigraphy and sedimentology of Cretaceous and Paleocene strata in half-grabens on the southeast coast of Baffin Island, Northwest Territories // *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*. 1990. Vol. 38. pp. 185–196.
- Chydenius J. J. Undersökning af fossilt hartz från Grönland // *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*. 1875. Vol. 2. No 13. pp. 549–551.
- Dam G., Pedersen G. K., Sønderholm M. et al. Lithostratigraphy of the Cretaceous–Paleocene Nuussuaq Group, Nuussuaq Basin, West Greenland // *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin*. 2009. Vol. 19. 171 pp.
- Denmark, Greenland and the Faroe Islands: Kingdom of Denmark Strategy for the Arctic. 2011–2020. Copenhagen, Nuuk, Tinganes: Rosendahls-Shultz grafisk a/s, 2011. 58 p.
- Fortier Y.O., Blackadar R.G., Glenister B.F. et al. Geology of the north-central part of the Arctic Archipelago, Northwest territories (Operation Franklin). Ottawa: Dep. of mines and technical surveys, 1963. 671 p. (Geological Survey of Canada, Memoir 320).



- Fraquet H. Amber. London: Butterworth and Co. Ltd, 1987. 176 p.
- Giesecke K.L. Description of Greenland. Edinburgh: Andrew Balfour, Merchant court, 1816. 22 p.
- Giesecke K.L. Gieseckes Mineralogiske rejse i Grønland, ved F. Johnstrup. Med et tillæg om de grønlandske stednavnes retskrivning og etymologi af H. Rink. København: B. Lunos bogtrykkerei, 1878. 372 s.
- Hald N., Pedersen A. K. Lithostratigraphy of the Early Tertiary volcanic rocks of central West Greenland // Rapp. Grønlands geol. Unders. 1975. Vol. 69. pp. 17–24.
- Harrison J.C., Mayr U., McNeil D.H. et al. Correlation of Cenozoic sequences of the Canadian Arctic region and Greenland; implications for the tectonic history of northern North America // Bulletin of Canadian Petroleum Geology. 1999. Vol. 47. No 3. pp. 223–254.
- Heck G. Py-GC-Analysen zur Unterscheidung von Bernstein // Berliner Beiträge zur Archäometrie. 1999. Bd. 16. S. 211–240.
- Heer O. Flora fossilis Arctica: die fossile flora der Polarländer: Die in Nordgrønland, Auf De: Die in Nordgrønland, Auf Der Melville-Insel, Im Banksland, Am Mackenzie, in Island Und in Spitzbergen Entdeckten Fossilen Pflanzen. Zurich: Druck und Verlag von Friedrich Schulthess, 1868. 254 s.
- Heer O. Contributions to the fossil flora of North Greenland, being a description of the plants Collected by Mr. Edward Whymper during the summer of 1867 // Philosophical Transactions of the Royal Society London. 1869. Vol. 159. pp. 445–488.
- Heim A. Über die Petrographie und Geologie der Umgebungen von Karsuarsuk, Nordseite der Halbinsel Nugsuaq, W. Grønland // Meddelelser om Grønland. 1910. Vol. 47. No. 3. pp. 173–230.
- Henderson G., Rosenkrantz A., Schiener E. J. Cretaceous-Tertiary sedimentary rocks of West Greenland // Geology of Greenland. Copenhagen: Geol. Surv. Greenland. 1976. p. 340–362.
- Koch B. E. Fossil plants from the lower Paleocene of the Agatdalen (Angmårtussut) area, central Nûgssuaq peninsula, northwest Greenland // Bulletin Grønlands Geologiske Undersøgelse. 1963. Vol. 38. 120 p.
- 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 naturales de Alava. 1999. Vol. 14. No. 2. pp. 73–117.
- Kosmowska-Ceranowicz B., Pielińska A. Infrared spectra of amber and other resins — results of research by Vladas Katinas // International symposium «Amberif 2018». Book of abstract. 2018. pp. 124–128.
- Langenheim J. H. Amber: A botanical inquiry // Science. 1969. Vol. 163. No. 3872. pp. 1157–1169.
- Nordenskiöld A. E. Redogörelse för en expedition till Grønland år 1870 // Öfversigt Kungliga Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar. 1871. Vol. 27. pp. 973–1082.
- Poinar G. O. Life in Amber. Stanford University Press, 1992. 386 p.
- Poulin J., Helwig K. The characterization of amber from deposit sites in western and northern Canada // J. of Archaeological science. Reports 7. 2016. pp. 155–168.
- Ravn J. P. J. De marine Kridtaflejringer i Vest-Grønland og deres fauna // Meddelelser om Grønland. 1918. Vol. 56. No. 9. pp. 313–366.
- Rink H. H. Grønland geographisk og statistisk beskrevet. Bd. 1. De danske Handelsdistriktet i Nordgrønland: deres geographiske Beskaffenhed og produktive Erhvervskilder. Kjøbenhavn: A. F. Høst, 1852. 206 s.
- Rosenkrantz A. Marine Upper Cretaceous and lowermost Tertiary deposits in West Greenland // Meddr dansk geol. Foren. 1970. Vol. 19. pp. 406–453.
- Seward A. C. Notes sur la Flore Crétacique du Groenland. Societé géologique Belgique. 5eme anniversaire Livre Jubilaire. 1924. Vol. 1. pp. 227–263.
- Seward A. C. The Cretaceous plant-bearing rocks of western Greenland // Phil. Trans. roy. Soc. London B. 1926. Vol. 215. pp. 57–175.
- Seward A. C., Conway V. M. Additional Cretaceous plants from western Greenland // Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar. 1935. Vol. 15. No. 3. 51 pp.
- Seyfullah L. J., Beimforde C., Corso J. D. et al. Production and preservation of resins — past and present // Biological Reviews. 2018. Vol. 93. No. 3. pp. 1684–1714.
- Schiener E. J. Basin study: central West Greenland onshore Cretaceous-Tertiary sediments // IX Congrès international de Sedimentologie, Nice. 1975. Vol. 2. Theme 5. pp. 379–385.
- Schlüter C. Untitled abstract of talk // Sitzungsberichte der niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn. 1874. Vol. 7. ss. 24–31.
- Shekhar S. C., Frandsen N., Thomsen E. Coal on Nûgssuaq, West Greenland. Copenhagen: Geological Survey of Greenland, 1982. 82 p.
- Stach P., Martinkutė G., Šinkūnas P., Natkaniec-Nowak L., Drzewicz P., Naglik B. Bogdasarov M. An attempt to correlate the physical properties of fossil and subfossil resins with their age and geographic location // Journal of Polymer Engineering. 2019. Vol. 39. No. 8. pp. 716–728.
- Steenstrup K. J. V. Om de kulførende Dannelser på Ōen Disko, HareŌen og Syd-Siden af Nûgssuaq's HalvŌen i Nord-Grønland. Videnskabelige Meddelelser fra den naturhistoriske Forening i Kjøbenhavn 3–7, 1874. 39 p.
- Steenstrup K. J. V. Om Forekomsten af Forsteneringer i de kulførende Dannelser i Nord-Grønland // Meddelelser om Grønland. 1883 Vol. 5. pp. 43–77.
- Storey M., Duncan R. A., Pedersen A. K. et. al. 40Ar/39Ar geochronology of the West Greenland Tertiary volcanic province // Earth and Planetary Science Letters. 1998. Vol. 160. pp. 569–586.
- Tappert R., McKellar R. C., Wolfe A. P. Stable carbon isotopes of C3 plant resins and ambers record changes in atmospheric oxygen since the Triassic // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2013. Vol. 121. pp. 240–262.
- Wartha V. Chemische Untersuchung einiger Gesteine, fossilen Holzes u. Kohlen aus der arktischen Zone // Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich. 1866. No. 11. ss. 281–295.
- White D., Schuchert C. Cretaceous series of the west coast of Greenland // Bull. of the Geological Society of America. 1897. Vol. 9. No. 6. pp. 343–365.
- Whymper. E. H. Report of proceedings to obtain a collection of fossil plants in north Greenland for the committee of the British association // Report of the British Assoc. for the Advancement of Science. 1869. Vol. 39. pp. 1–8.
- Zobel A. M. Cedarite and other fossil resins in Canada, in investigation into amber // Proceedings of the International interdisciplinary symposium on Baltic amber and other fossil resins. Gdansk, 1999. pp. 241–245.

## Кварц-кианит-мусковитовый магматический слюдит Борисовских сопок на Южном Урале

В. А. Попов, С. В. Колисниченко, И. А. Блинов

Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, Миасс  
*popov@mineralogy.ru*

Статья посвящена моделированию онтогенеза минерального агрегата горной породы, имеющей генезис дискуссионного характера. На Южном Урале в блоке кианитсодержащих рассланцованных пород Борисовских сопок встречаются линзы или штоки слабдеформированных пород, структура которых соответствует структурам магматических пород. Между всеми минералами – мусковитом, кианитом, кварцем, рутилом, пиритом, монацитом, ксенотимом и цирконом – наблюдаются индукционные поверхности совместного одновременного роста. Это парагенезис (эвтектика). Интересным фактом является то, что крупные индивиды кварца насыщены мелкими включениями мусковита, а синхронный с ними кианит свободен от включений мусковита, что объясняется отталкиванием в процессе кристаллизации в расплаве-растворе минералов с одинаково заряженной поверхностью. В минеральном агрегате изученной горной породы отсутствуют морфологические признаки метасоматоза (метакристаллы, псевдоморфозы, тени предшествующих твёрдых тел) и перекристаллизации. Это указывает на то, что рассмотренная кварц-кианит-мусковитовая порода имеет магматический генезис.

**Ключевые слова:** *слюдит, магматическая порода, кварц, кианит, мусковит, индукционные поверхности, Южный Урал*

## Quartz-kyanite-muscovite magmatic mica in Borisovian dikes in the Southern Urals

V. A. Popov, S. V. Kolisnichenko, I. A. Blinov

South Ural Federal Scientific for mineralogy and geoecology UB RAS, Miass

The article describes the simulation of ontogenesis of rock mineral aggregate with debatable genesis. Lenses or stokes of weakly deformed rocks are found in the South Urals in the block of kyanite-bearing stratified rocks of the Borisovskiy Sopki, the structure of which corresponds to the structures of igneous rocks. Induced surfaces of joint simultaneous growth are observed in all minerals – muscovite, kyanite, quartz, rutile, pyrite, monazite, xenotime and zircon. This is a paragenesis (eutectics). An interesting fact is that large quartz individuals are saturated with muscovite inclusions, while kyanite, synchronous with them, is free from muscovite inclusions, which is explained by repulsion in the melt-solution of minerals with equally charged surface. The mineral aggregate of the studied rocks lacks morphological signs of metasomatism (metacrystals, pseudomorphs, shadows of previous solid bodies) and recrystallization. This indicates magmatic genesis of the studied quartz-kyanite-muscovite rocks.

**Keywords:** *mica, igneous rock, quartz, kyanite, muscovite, induction surfaces, Southern Urals*

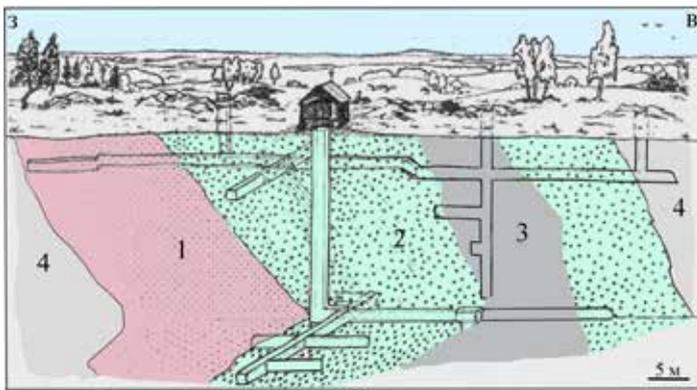
### Введение

Кианитсодержащие горные породы Борисовских (Соколиных) сопок на Южном Урале освещены во многих публикациях, а также в последнем по времени обзоре (Коротеев и др., 2011). Традиционно происхождение кианитсодержащих горных пород в этом обзоре рассмотрено как метаморфическое и гидротермально-метасоматическое. Иногда встречаются указания на нахождение кианита в кварцевых жилах как тел захвата (Колисниченко, Попов, 2008).

Кианит в сланцах собственно Борисовского месторождения разнообразен по величине, форме, цвету, парагенезисам (Колисниченко, Попов, 2008). Основные сведения о минералогии кианитовых руд и геологии месторождения получены при разведке и частичной обработке его в 30-х годах прошлого столетия

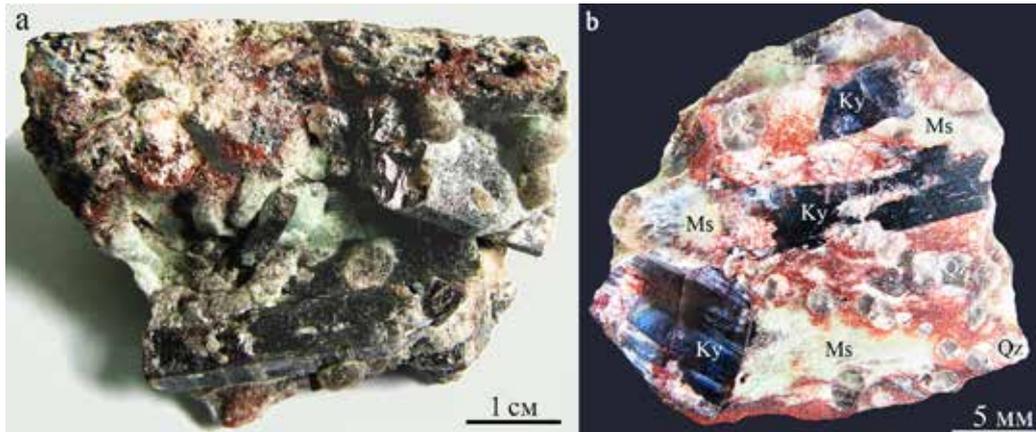
(Игумнов, Кожевников, 1935). Установлено, что линзообразные тела кианитсодержащих пород рассланцованы в разной мере, и в их составе могут преобладать мусковит (серицит) либо кварц, акцессорными являются рутил, пирит и турмалин. Некоторые из тел имеют слабое рассланцевание и форму линз или штоков, рвущих другие тела (рис. 1). Предположительно из таких тел в нашей коллекции выделены образцы с минимальной пластической деформацией (рис. 2), для которых нами предпринята попытка смоделировать онтогенез горной породы.

Исследования выполнены на образцах из коллекции С. В. Колисниченко, собранной в 90-х годах прошлого века. Задача данной статьи – показать один из примеров онтогенетического анализа минерального агрегата для моделирования генезиса горной породы, имеющего дискуссионный характер.



**Рис. 1.** Схематический широтный геологический разрез в районе разведочного участка на Борисовских (Соколиных) сопках: 1 — гранит, 2 — мусковитовый сланец с кианитом, 3 — кварц-кианит-мусковитовая порода с лимонитом, 4 — мусковит-кварцевый сланец. По данным А. Н. Игумнова и К. Е. Кожевникова (1935), с небольшими изменениями

**Fig. 1.** Schematic latitudinal geologic section in the area of the exploration site on the Borisovskiye (Sokoliniye) hills: 1 — granite, 2 — muscovite shale with kyanite, 3 — quartz-kyanite-muscovite rock with limonite, 4 — muscovite-quartz shale. According to A. N. Igumnov and K. E. Kozhevnikov (1935) with minor changes



**Рис. 2.** Структура кварц-кианит-мусковитовой породы: а — естественная поверхность; б — полированный препарат. Ms — мусковит, Qz — кварц, Ky — кианит (Борисовские сопки). Образец С. В. Колисниченко; фото В. А. Попова

**Fig. 2.** The structure of quartz-kyanite-muscovite rock: a — natural surface; b — polished preparation. Ms — muscovite, Qz — quartz, Ky — kyanite (Borisov hills). Sample by S. V. Kolisnichenko; photo by V. A. Popov

### Методы исследований

Применялась обычная геолого-минералогическая методика исследований с элементами онтогении минералов: визуальные наблюдения текстуры агрегата; под микроскопом — структурно-морфологические особенности минералов, относительный возраст, предварительная диагностика; на микрозонде — дополнительная диагностика и химические особенности минеральных индивидов. Для установления генетического типа поверхностей между кристаллами использовалось препарирование минеральных сростков. Химический состав минералов изучался в полированных препаратах на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Vega 3 (аналитик И. А. Блинов).

### Результаты и обсуждение

Текстура агрегата исследованных образцов может быть названа однородной (массивной), структура — разнотельной, порфирированной (рис. 3); по форме кристаллов минералов — столбчато-таблитчато-изометрично-зернистой. Породообразующие минералы — кварц, кианит и мусковит; аксессуарные — рутил, пирит, турмалин, монацит, циркон, ксенотим. Преобладающей ориентировки у минералов в агрегате не обнаружено.

**Кианит**  $Al_2SiO_4$ . Минерал образовал крупные (до 4 см) столбчато-таблитчатые кристаллы неоднородного синего цвета с мелкими включениями рути-

ла (0.05—1 мм) и пирита (0.01—0.3 мм). Неоднородность синего цвета обусловлена неконтрастной зональностью и секториальностью кристаллов и небольшими вариациями состава (по Fe и Cr), что видно в эмпирических формулах кианита (расчёт на 3 катиона) по точкам в одном кристалле (рис. 4): **o** —  $Al_{1.98}Fe_{0.01}Cr_{0.005}(SiO_4)O$ ; **p** —  $Al_{1.99}Fe_{0.01}(SiO_4)O$ ; **q** —  $Al_{1.98}Fe_{0.02}(SiO_4)O$ . Со всеми контактирующими минералами кианит имеет индукционные поверхности одновременного роста. Кристаллы рутила и пирита распространены равномерно внутри и вне кристаллов кианита, тогда как кристаллы мусковита есть только снаружи индивидов кианита, но имеют с ним индукционные поверхности (с периферическими зонами роста). Кианит занимает около 20 % объёма образца (рис. 2).

**Кварц**  $SiO_2$ . Представлен округлыми зёрнами дымчатого (светло-серого) цвета, величиной 1—3 мм, равномерно насыщенными мелкими частицами мусковита, рутила и пирита. Некоторые зёрна кварца частично или полностью включены в более крупные индивиды кианита. Со всеми контактирующими минералами у кварца наблюдаются индукционные поверхности одновременного роста (рис. 5). Кварц составляет 5—7 % объёма образца.

**Мусковит**  $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ . Преобладающая (65—75 % объёма) ткань горной породы сложена мелкозернистым (менее 1 мм) желтовато-зеленоватым таблитчатым мусковитом. Индивиды мусковита по химическому составу сравнительно однородны, что заметно и в эмпирических формулах (расчёт на 7 кати-

онов) по данным микрозондовых анализов в разных точках препарата (рис. 5, а, точки **b–d**):

**b** —  $K_{0.70}Na_{0.19}Fe_{0.11}Mg_{0.07}Ti_{0.04}Al_{1.90}(Si_{3.08}Al_{0.92})O_{10}(OH)_2$ ;

**c** —  $K_{0.70}Na_{0.20}Fe_{0.11}Mg_{0.06}Ti_{0.04}Al_{1.88}(Si_{3.05}Al_{0.95})O_{10}(OH)_2$ ;

**d** —  $K_{0.66}Na_{0.22}Fe_{0.11}Mg_{0.07}Ti_{0.04}Al_{1.90}(Si_{3.05}Al_{0.95})O_{10}(OH)_2$ ;

**j** —  $K_{0.62}Na_{0.24}Fe_{0.13}Mg_{0.05}Ti_{0.03}Al_{1.88}(Si_{3.05}Al_{0.95})O_{10}(OH)_2$ .

Индивиды мусковита имеют только индукционные поверхности одновременного роста со всеми минералами горной породы. Если кварцевые зёрна насыщены включениями мусковита, то в кианите включений мусковита нет, и индукционные поверхности есть только по периферии зёрен кианита (рис. 5). Одновременный с кианитом мусковит мог отталкиваться кристаллами кианита до тех пор, пока в жидкости (расплаве-растворе) было свободное от фиксированных твёрдых тел пространство. По-видимому, поверхности зёрен кианита и мусковита несут одинаковый заряд (отталкиваются), а мусковит и кварц — разнозарядные (притягиваются).

**Рутил**  $TiO_2$ . Мелкими (0.03–3 мм) зёрнами красного рутила насыщена вся исследуемая порода (рис. 3–5). Облик зёрен — короткостолбчатый. Поверхность зёрен — индукционная, что говорит о синхронной кристаллизации со всеми контактирующими минералами. В составе минерала есть Fe и V: **a** —  $Ti_{0.99}V_{0.01}Fe_{0.005}O_2$ , **f** —  $Ti_{0.98}Fe_{0.01}V_{0.01}O_2$ .

Рутила в породе около 0.3 % по объёму.

**Пирит**  $FeS_2$ . Как и рутил, пирит насыщает мелкими (0.01–0.3 мм) кристалликами всю породу (рис. 4, 5), его существенно меньше по объёму (0.05 %). Индивиды имеют индукционные поверхности, лишь местами видны фрагменты граней куба. В составе пирита примесных компонентов не выявлено (ниже чувствительности использованного микрозонда).

**Монацит-(Ce)**  $CePO_4$ . Минерал наблюдался только в виде микровростков (5–30 мкм) в разных породообразующих минералах (рис. 6). Химический состав монацита несколько варьирует, но картины неоднородности не видно:

**i** —  $Ce_{0.40}La_{0.20}Nd_{0.16}Ca_{0.08}Th_{0.05}Pr_{0.04}Gd_{0.04}Sm_{0.02}Dy_{0.01}(P_{0.97}S_{0.03}O_4)$ ;

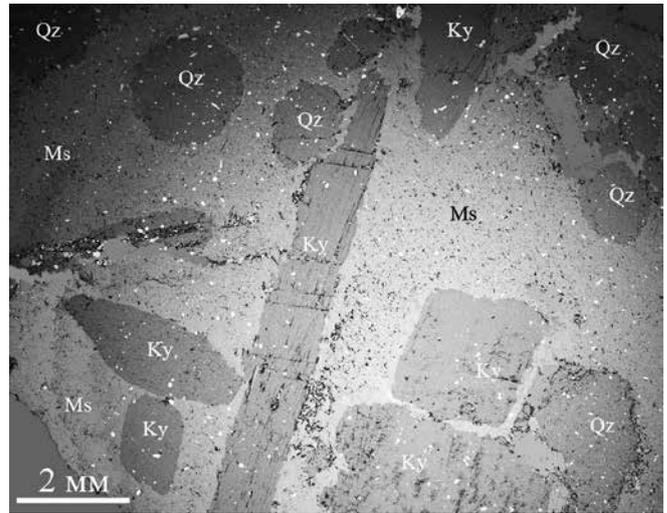
**m** —  $Ce_{0.43}La_{0.21}Nd_{0.16}Pr_{0.05}Ca_{0.04}Sm_{0.03}Th_{0.03}Dy_{0.01}(P_{0.98}S_{0.02}O_4)$ ;

**n** —  $Ce_{0.42}La_{0.22}Nd_{0.15}Pr_{0.04}Ca_{0.05}Sm_{0.03}Th_{0.02}(P_{0.98}S_{0.02}O_4)$ .

**Ксенотим**  $YPO_4$ . Ксенотим встречается редко в заметных выделениях при больших увеличениях и имеет состав: **l** —  $Y_{0.75}Dy_{0.09}Gd_{0.08}Er_{0.03}Tb_{0.02}Sm_{0.01}Eu_{0.01}Ho_{0.01}(PO_4)$ .

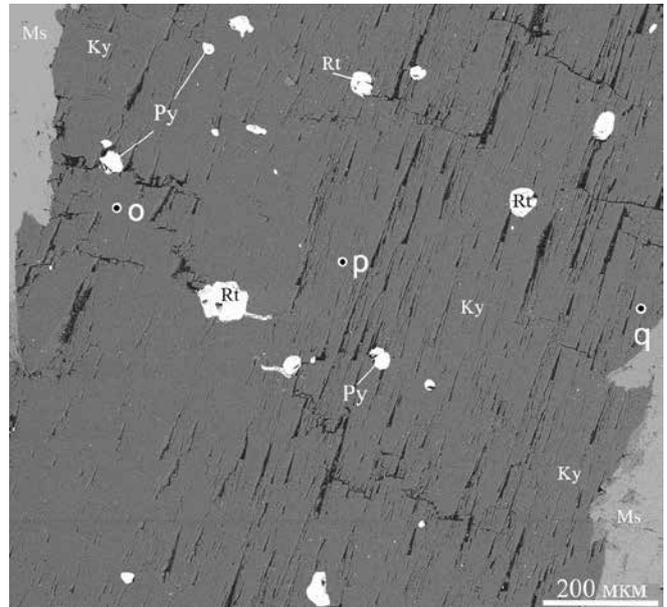
**Циркон**  $ZrSiO_4$  образовал очень мелкие зёрна (первые микрометры) и наблюдается по всей породе. Примесных компонентов в цирконе не выявлено.

По тонким трещинкам в породе есть экзогенный **лимонит**, местами придающий породе жёлто-крас-



**Рис. 3.** Неравнозернистая структура кварц-кианит-мусковитовой породы. Ms — мусковит, Qz — кварц, Ky — кианит. BSE-фото

**Fig. 3.** Inequigranular structure of quartz-kyanite-muscovite rock. Ms — muscovite, Qz — quartz, Ky — kyanite BSE-photo



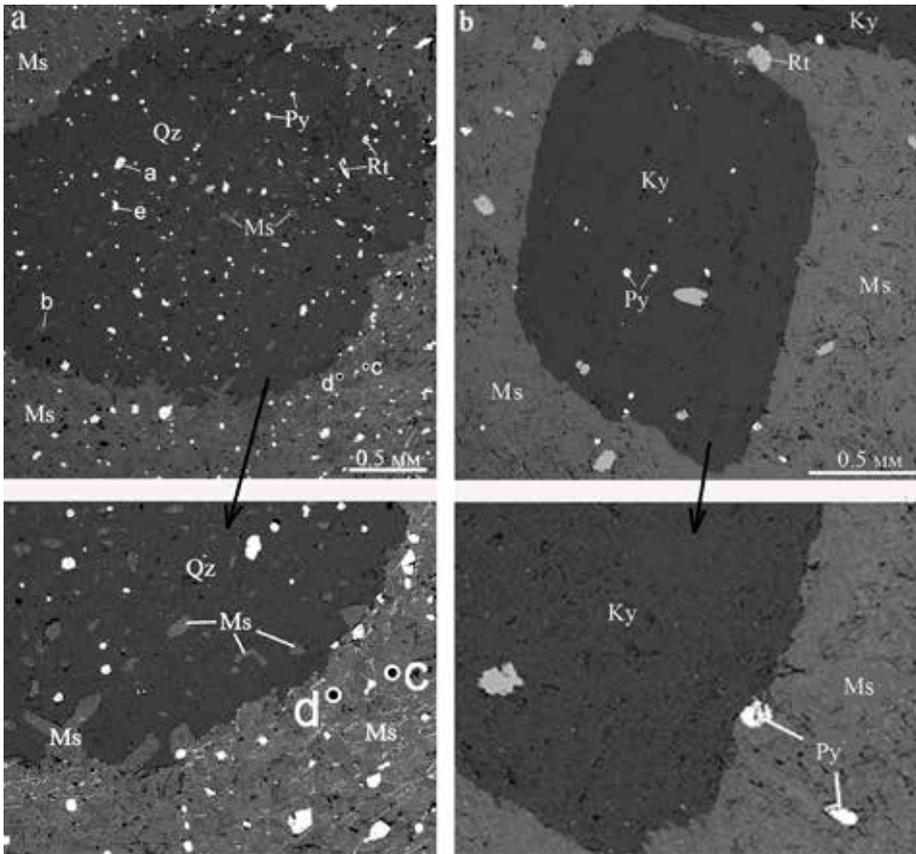
**Рис. 4.** Зерно кианита с включениями рутила и пирита. По периферии у кианита видны индукционные границы с мусковитом. Ms — мусковит, Rt — рутил, Ky — кианит, Py — пирит. BSE-фото

**Fig. 4.** Kyanite grain with inclusions of rutile and pyrite. The kyanite shows induction boundaries with muscovite at the periphery. Ms — Muscovite, Rt — rutile, Ky — kyanite, Py — pyrite. BSE-photo

ный цвет и частично затушёвывающий истинную массивную текстуру минерального агрегата.

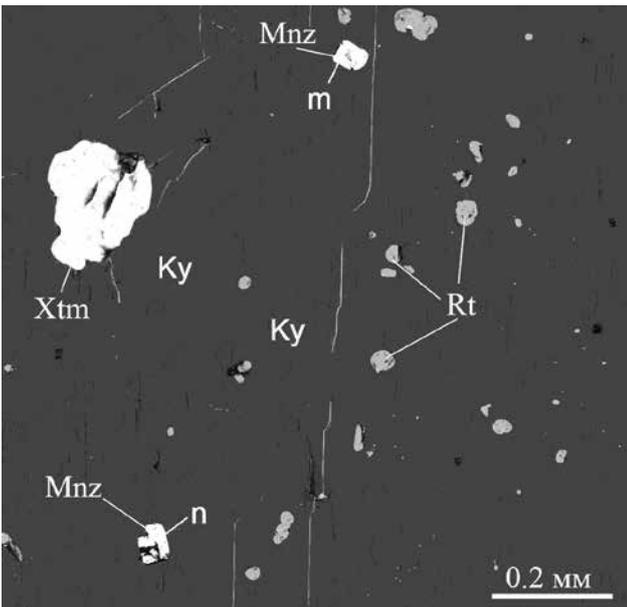
### Заключение

Структура, текстура и геологическое положение изученной горной породы в виде штока или линзы среди рассланцованных пород позволяют предположить её магматическое происхождение. К этому же склоняют нас отсутствие метакристаллов, псевдоморфоз и «теней» предшествующих горных пород. Наличие индукционных поверхностей одновременного роста



**Рис. 5.** Распределение мусковита (Ms) в слюдите: а — насыщенность в зёрнах кварца (Qz); б — отсутствие мусковита в индивидах кианита (Ky). Иллюстрация явления кристаллизации разнозаряженных минералов из жидкой среды. BSE-фото

**Fig. 5.** Distribution of muscovite (Ms) in mica: a — saturation in quartz grains (Qz); b — absence of muscovite in kyanite individuals (Ky). Illustration of the phenomenon of crystallization of differently charged minerals from a liquid medium. BSE-photo



**Рис. 6.** Синхронные включения рутила (Rt), монацита (Mnz) и ксенотима (Xtm) в кианите (Ky). BSE-фото

**Fig. 6.** Synchronous inclusions of rutile (Rt), monazite (Mnz) and xenotime (Xtm) in kyanite (Ky). BSE-photo

между индивидами всех восьми минералов указывает на их парагенетические взаимоотношения. Такие агрегаты по структуре относятся к эвтектическим при кристаллизации расплавов-растворов. По минеральному составу изученную горную породу можно отнести к классу слюдитов (глиммеритов). В данном случае — кварц-кианит-мусковитовый слюдит. По-видимому, в природе чаще встречаются метасомати-

ческие слюдиты (биотитовые, флогопитовые, мусковитовые и др.), но здесь морфологических признаков метасоматоза нет. Среди деталей формирования структуры горной породы интересен факт отсутствия включений мусковита в индивидах кианита, тогда как в синхронном с кианитом кварце наблюдается множество синхронных зёрен мусковита. Этот факт интерпретирован нами как «отталкивание» кианитом зёрен мусковита при кристаллизации в расплаве-растворе и одинаковости (плюс или минус) заряда на поверхности росших минералов. В процессах метасоматоза отталкивания зёрен минералов не происходит.

### Литература / References

- Игумнов А. Н., Кожевников К. Е. Уральские месторождения дистена (кианита). М.-Л.: ОНТИ, 1935. 184 с.  
 Igumnov A. N., Kozhevnikov K. E. Ural deposits of distene (kyanite). M.-L. ONTI, 1935. 184 p.
- Колисниченко С. В., Попов В. А. «Русская Бразилия» на Южном Урале. Челябинск: Санарка, 2008. 528 с.  
 Kolisnichenko S. V., Popov V. A. "Russian Brazil" in the Southern Urals. Chelyabinsk: Sanarka, 2008. 528 p.
- Коротеев В. А., Огородников В. Н., Войтеховский Ю. Л., Щипцов В. В., Поленов Ю. А., Сазонов В. Н., Савичев А. Н., Коротеев Д. В. Небокситовое алюминиевое сырьё России / Институт геологии и геохимии УрО РАН. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 228 с.  
 Koroteev V. A., Ogorodnikov V. N., Voitekhovskiy Y. L., Shchiptsov V. V., Polenov Y. A., Sazonov V. N., Savichev A. N., Koroteev D. V. Non-bauxite aluminum raw materials of Russia. Institute of Geology and Geochemistry UB RAS. Yekaterinburg: UB RAS, 2011. 228 p.



## Решение XVIII Геологического съезда Республики Коми

В период с 10 по 12 апреля 2024 г. в соответствии с Распоряжением Правительства Республики Коми №625-р от 29.11.2023 г. (с изменениями №101-р от 27.02.2024 г.) в Сыктывкаре прошел XVIII Геологический съезд Республики Коми.

Организаторами съезда выступили Правительство Республики Коми, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по недропользованию, Институт геологии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук».

В работе съезда приняли участие более 500 человек, представляющих 140 организаций и ведомств из 30 регионов Российской Федерации (40 городов и других населенных пунктов) и 4 стран ближнего и дальнего зарубежья (Азербайджан, Беларусь, Узбекистан, Китай).

В адрес участников съезда поступили приветствия от Главы Республики Коми В. В. Уйба, председателя Государственного совета Республики Коми С. А. Усачева, специального представителя Президента Российской Федерации по международному сотрудничеству в Арктике и Антарктике, президента МОО «Ассоциация полярников» А. Н. Чилингарова, сенатора Российской Федерации Е. Б. Шумиловой, президента Российского геологического общества Г. А. Машковцева, академика-секретаря Отделения наук о Земле Российской академии наук Н. С. Бортникова.

Финансовая, материальная и организационная поддержка была оказана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, Правительством Республики Коми, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, АО «РУСТИТАН» (Москва), ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (Пермь), АО «Комнедра» (Усинск), ООО ГТК «Синтез» (Москва), ООО «Карьероуправление-Север» (Сыктывкар), ООО «Севертрансэкскавация» (Усинск), ООО «Артезианский источник» (Сыктывкар), ООО Фирма «Исток-Д» (Сыктывкар), ООО «ОМИА-УРАЛ» Сыктывкар), ООО «Коми республиканская типография» (Сыктывкар), ООО «Вербунг» (Сыктывкар), Академическим театром драмы имени Виктора Савина.

Информационная поддержка осуществлялась агентствами «ИТАР-ТАСС», «Север-Медиа», «Комиинформ», телерадиокомпаниями ГТРК «Коми гор», АО «Коми республиканский телевизионный канал», газетами «Коми му», «Республика», «Наука Урала», издательским домом «Руда и Металлы», журналами «Вестник Отделения наук о Земле Российской академии наук», «Вестник геонаук», «Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук», «Разведка и охрана недр», «Инженер-нефтяник», интернет-порталами «БНК», «УРО РАН», «ФИЦ Коми НЦ УРО РАН», «РОСГЕО».

С 10 по 12 апреля работали научно-технические выставки «Минеральные ресурсы Республики Коми» и «Новые материалы на минеральной основе». Был показан ряд новых продуктов и материалов, исследовательских технологий и приборов.

### Decision of the 18th Geological Congress of the Komi Republic

From April 10 to April 12, 2024, the 18<sup>th</sup> Geological Congress of the Komi Republic was held in Syktyvkar. More than 500 delegates representing 140 organizations and departments from 30 regions of the Russian Federation and 4 other countries took part in the Congress. The participants summed up the following results for the past 5 years: the level of oil production remained at the level of 13–14 million tons, 4 new oil fields were discovered; coal production decreased to 6–8 million tons per year; a total of 64.053 thousand tons of bauxite were mined; the reserves of titanium ores of the Pizhemskeye deposit, approved in 2020, amount to 300.4 million tons in categories C<sub>1</sub> + C<sub>2</sub>. The production of construction sands and ASG is stable – 2.5–3 million m<sup>3</sup>. The State Geological Map at a scale of 1 : 1 000 000 (third generation) has been compiled for the entire territory of the Komi Republic.

Participants of the 18<sup>th</sup> Geological Congress of the Komi Republic consider it necessary: to pay more attention to the development of Arctic territories; to stabilize coal and oil production, to increase production and processing of natural gas; to consider the North Pre-Ural oil and gas region to be the main direction of geological exploration for oil and gas; for the Government of the Komi Republic to make a decision on the road to the Verkhne-Vorykvinskaya bauxite deposit; to create a national mining cluster on the basis of the Pizhemskeye deposit; to continue studying unconventional hydrocarbon resources, primarily the complexes of domanik and domanikoid deposits. To hold the 19<sup>th</sup> "Mining and Geological Congress of the Komi Republic" in 2029.

Участники XVIII Геологического съезда, объединившего широкий круг геологов — ученых и производственников, горняков, недропользователей, представителей законодательной и исполнительной власти, геологической общественности — отметили:

- Республика Коми обладает значительным природно-ресурсным, промышленным, социально-экономическим, инвестиционным потенциалом;
- геолого-разведочные работы, добыча полезных ископаемых относятся к важнейшим видам экономической деятельности в Республике Коми, и от их состояния во многом зависит обеспечение минерально-сырьевой, энергетической и экономической безопасности, создание новых технологий и производств, социально-экономическое развитие региона;
- минерально-сырьевая база Республики Коми и сопредельных территорий Северного, Волго-Вятского, Уральского и Западно-Сибирского экономических регионов Российской Федерации характеризуется разнообразием горючих, металлических и неметаллических полезных ископаемых, наличием месторождений стратегического и особо важного для экономики минерального сырья;



- Республика Коми участвует в развитии транспортной инфраструктуры России (железнодорожные магистрали «Белкомур», «Баренцкомур», «Северный широтный ход»), постоянно присутствует и активно развивает экономическую деятельность в Арктике;

- разработка месторождений нефти, газа, угля, бокситов, строительного минерального сырья имеет большое значение для экономики Республики Коми, формируя основную долю налоговых доходов консолидированного бюджета;

- минерально-сырьевой комплекс является наиболее устойчивым и социально значимым сектором экономики Республики Коми;

- проводимые в Республике Коми геологические съезды имеют важнейшее значение для объективного рассмотрения и обсуждения результатов геолого-разведочных работ, их планирования на среднесрочную перспективу, формирования перспективных направлений развития минерально-сырьевой базы, обоснования создания новых центров экономического роста, в первую очередь в северных и арктических регионах страны.

Участники съезда отметили особую важность координации геологических исследований на этапах региональных, прогнозно-минерагенических и прогнозно-поисковых работ, рекомендовали продолжить практику ежегодного заслушивания промежуточных итогов геолого-разведочных работ, выполняемых за счет федерального бюджета, а также средств недропользователей.

Участники съезда приветствовали открытую политику многих компаний-недропользователей (ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», АО «Боксит Тимана», АО «РУСТИТАН», ООО «ТрейдПромСервис» и др.), предоставляющих возможность детально ознакомиться с фактическими результатами производственных работ и планами на будущее. Это позволяет составить соответствующие программы развития предприятиям — поставщикам продукции, материалов и технологий, сервисным предприятиям, учреждениям, готовящим специалистов, научным учреждениям, органам государственного и местного управления.

#### **Участники XVIII Геологического съезда Республики Коми подвели следующие итоги.**

За прошедший между съездами период получены новые результаты в области регионального геологического изучения недр, развития минерально-сырьевой базы, освоения месторождений полезных ископаемых региона.

С 2019 по 2023 год добыча нефти сохранялась на уровне 13—14 млн т. При активном воспроизводстве запасов добыча может быть увеличена еще на 1—2 млн т в год. За последние 5 лет в результате поисковых работ было открыто 4 новых нефтяных месторождения, из них 3 месторождения — в «старых» нефтегазоносных районах. Значительный объем работы был проведен по подготовке нефтегазовых структур к глубокому бурению. Всего за период с 2019 по 2023 год было подготовлено и поставлено на государственный баланс 10 структур с суммарными извлекаемыми ресурсами  $D_0$  — 31.08 млн т.

Показаны новые направления развития геолого-разведочных работ на нефть и газ на слабоизученных территориях — в Денисовском прогибе, на гряде

Чернышева, в Верхнепечорской, Большесынинской и Косью-Роговской впадинах.

Печорский угольный бассейн характеризуется сравнительно низкой степенью освоения запасов. В эксплуатации находятся 4 шахты и 1 разрез с общей производственной мощностью 8.3 млн т. В последние годы добыча составляет 6—8 млн т в год. Уровень добычи коксующихся марок остается стабильным, а добыча энергических марок углей полностью прекращена. В долгосрочной перспективе сохранить объем годовой добычи угля в Печорском бассейне на уровне 7—8 млн т возможно только путем лицензирования запасов коксующихся углей марки «Ж» на глубоких горизонтах шахты «Воргашорская» и ввода в эксплуатацию новых шахт: «Усинская № 1» мощностью 4.5 млн т; шахты № 33 Воркутского месторождения мощностью 1.8 млн т. Но строительство этих шахт должно быть начато уже в ближайшие годы. За пределами Республики Коми перспективы имеет дальнейшее изучение Силовской площади, в пределах которой выделены участки для подземной добычи углей дефицитных марок «К», «КЖ», «Ж» (ресурсы  $P_1$  — 16.9 млн т и  $P_2$  — 95.3 млн т), а также участок под открытую разработку (ресурсы  $P_2$  — 5.77 млн т).

Успешно осваиваются Вежаю-Ворыквинское и Верхнешугорское месторождения бокситов на Среднем Тимане. Проектная годовая производительность Среднетиманского бокситового рудника составляет 3 400 тыс. т. Суммарно добыто 64 053 тыс. т бокситов и 3 155 тыс. т забалансовых руд. Численность предприятия за период с 2015 по 2023 год выросла более чем в 2 раза. Горная масса за этот же период увеличилась в 4 раза. Рост производительности за 9 лет вырос почти вдвое — с 11 004 до 20 744 м<sup>3</sup>/чел. в год.

Кварц-лейкоксовые песчаники Тиманской титаносной провинции, расположенные на территории Республики Коми и представленные Пижемским и Ярегским месторождениями, являются крупнейшей в России и уникальной в мире сырьевой базой титана, вовлечение которой в промышленную эксплуатацию позволит обеспечивать и развивать титановую отрасль страны на длительную перспективу. Из основных результатов проведенных работ следует отметить открытие Пижемского месторождения в 2021 году, подготовку запасов титановых руд к опытно-промышленной разработке и создание инновационной технологии комплексной переработки кварц-лейкоксовых песчаников с получением пористого рутила, высокотитанистого ильменита, синтетического игольчатого волластонита и прокаленного кварцевого песка с высокоразвитой активной поверхностью. АО «РУСТИТАН» в границах участка недр «Верхнепижемский» по завершению поисково-оценочной стадии работ защитил запасы полезных ископаемых Пижемского месторождения. На 01.01.2021 запасы титановых руд Пижемского месторождения, утвержденные протоколом ФБУ «ГКЗ» от 02.11.2020 г. № 6501, составляют по категориям  $C_1 + C_2$  — 300.4 млн т и стекольных песчаников по категории  $C_2$  — 345.4 млн т.

Продолжаются работы по подготовке к промышленному освоению Якшинского месторождения калийно-магниевых солей.

Вовлечена в практическое использование минерально-сырьевая база строительного минерального сырья. Объемы добычи строительных песков и ПГС остаются на стабильном уровне в районе 2.5—3 млн м<sup>3</sup>.



Ресурсный потенциал и сырьевая база достаточны для реализации в Республике Коми крупных проектов транспортного и промышленного строительства, а также развития промышленности строительных материалов.

Завершены работы по составлению комплектов Государственной геологической карты третьего поколения масштаба 1 : 1 000 000 на всю территорию Республики Коми. Далее эти работы будут выполняться на территории республики в рамках нового вида работ — мониторинга Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 территории Российской Федерации и ее континентального шельфа.

На территории республики работы масштаба 1 : 200 000 выполняет Сыктывкарский сектор Института Карпинского (ВСЕГЕИ). На двух объектах ГДП-200 (Вымская и Кыввожская площади) геолого-съёмочные работы закончены. Продолжаются работы масштаба 1:200 000 на Цилемской площади и на Западно-Воркутинской площади, подготавливается к проведению полевых работ новый объект — Обдырская площадь. Готовится к изданию лист «Адзьвинская площадь». Неизученными остались слабообнаженные территории с платформенным отложениями, малоперспективные на полезные ископаемые, а также часть Печоро-Ильчского заповедника и Национального парка «Югдыва». Основные перспективные на выявление полезных ископаемых площади Республики Коми обеспечены современной геологической основой.

В период 2020—2022 годы за счет государственного финансирования на территории Республики Коми ФГБУ «ВНИГНИ» реализован проект по региональному геологическому изучению недр — каркас сейсмических профилей в Большесынинской впадине Предуральяского краевого прогиба в объеме 530 пог. км. С учетом результатов завершённых в 2022 году работ для установления региональных закономерностей распространения органогенных построек позднего девона, картирования зон регионального выклинивания различных стратиграфических уровней нижнего девона и силура на юге Тибейвисской депрессии и в прилегающих районах Большесынинской впадины в 2023 году начаты региональные сейсморазведочные работы в объеме 1000 полнократных пог. км. Значительная роль в геолого-разведочных работах за счет средств федерального бюджета отведена обобщению ретроспективных материалов, контур которых включает весь северный сегмент Предуральяского краевого прогиба.

За прошедший между съездами период получены новые результаты и выполнен ряд крупных обобщений по систематике, эволюции, био- и стратиграфическому и палеогеографическому значению важных групп ископаемых организмов (позвоночных, конодонтов, фораминифер, остракод, брахиопод и др.). Решен ряд проблем, связанных с уточнением границ и объема стратонов в регионе, с использованием комплекса методов био-, лито-, хемо-, климато- и событийной стратиграфии. Уточнено положение границы силурийской и девонской систем (разрезы ТПП и Приполярного Урала), среднего и верхнего отделов девонской системы (разрезы Тимана), границы девонской и каменноугольной систем (разрезы ТПП, Северного, Приполярного и Полярного Урала), подошвы серпуховского яруса (разрезы ТПП). Ведутся работы по актуализации

региональной стратиграфической схемы Тимано-Североуральского региона и местных стратиграфических схем в силурийско-каменноугольном и триасовом интервалах.

Большое значение и все более широкое распространение в геологических исследованиях и недропользовании приобретают цифровые технологии, методы горно-геологического моделирования, использование искусственного интеллекта. Участники съезда представили примеры и результаты применения информационных технологий, 3D-моделирования, технологий машинного обучения, искусственного интеллекта в различных областях (палеонтология, стратиграфия, картосоставительские работы, поиски и разведка месторождений, инженерно-экологические исследования).

В новых условиях развивается геологическое образование в Республике Коми. Ведется подготовка специалистов-геологов, магистров, в том числе иностранных граждан.

Участники съезда отмечают значительный вклад УГТУ и СГУ в подготовке кадров и закреплении молодежи на Европейском Севере России. В то же время ощущается острая потребность в поддержке стратегических направлений геолого-геофизического, горно-геологического и инженерно-технического образования. Отказ от подготовки основных кадров геологов и геофизиков приведет к значительным экономическим потерям и несоразмерным затратам при решении задач развития и освоения минерально-сырьевой базы Республики Коми и в конечном счете нанесет значительный ущерб национальной и экономической безопасности нашей страны.

Участники XVIII Геологического съезда Республики Коми подчеркивают, что наряду с успехами в развитии и использовании минерально-сырьевой базы региона отмечается ряд проблем.

Сохраняется тенденция сокращения прироста запасов нефти и газа. Возможности прироста запасов на осваиваемых и подготавливаемых к освоению месторождениях ограничены. Потенциал новых открытий может быть реализован только при более существенном повышении объемов финансирования региональных и поисковых геолого-разведочных работ, выполняемых на новых площадях.

Продолжается падение объемов добычи угля в Воркутинском районе. Нет определенности с промышленным освоением новых месторождений. Сокращаются запасы угля в пределах разрабатываемых шахтных полей.

Многие из уже разведанных и подготовленных к разработке месторождений полезных ископаемых (углеводородное сырье, каменный уголь, бариты, марганцевые руды, коренное золото) не вовлекаются в эксплуатацию.

Фонд легко осваиваемых месторождений практически исчерпан. Основными объектами геолого-разведочных работ становятся средние и мелкие по масштабам месторождения, залегающие в тяжелых транспортных, климатических условиях, на большой глубине, бедные и труднообогатимые руды. При этом на государственном балансе числятся запасы многих месторождений, потерявших какие-либо перспективы промышленного освоения, учитываются ресурсы на



нелокализованных участках (в целом по зоне, району), что затрудняет привлечение инвесторов.

В связи с усложнением процесса геолого-разведочных работ, опосредованным слабоизученными, сложнопостроенными площадями, выходом геолого-поисковых работ в акватории Карского и Баренцева морей, на острова Арктики, усилением внимания к нетрадиционным минеральным ресурсам и содержащим их геологическим комплексам возрастает роль и значение научно-методического обоснования и сопровождения геолого-разведочных работ.

Остаются нерешенными многие правовые и экономические вопросы в сфере недропользования, например в части предоставления субъектам Российской Федерации больших прав в сфере регулирования отношений недропользования, проведения геологической экспертизы, изменения пропорций в распределении доходов от добычи полезных ископаемых, реализации заявительного принципа предоставления прав пользования недрами.

В регионе пока достаточно слабо развита переработка полезных ископаемых с получением продуктов с высокой добавленной стоимостью. Не продвигаются новые проекты в области нефте- и газохимической переработки, углехимии.

В связи с реализацией крупных инфраструктурных проектов большого внимания заслуживает подготовка и освоение месторождений общераспространенных полезных ископаемых. Рост промышленного и гражданского строительства обуславливает развитие промышленности строительных материалов и необходимость расширения соответствующей минерально-сырьевой базы. Низкой степенью освоенности характеризуется сырьевая база подземных, минеральных вод и лечебных грязей.

Остаются нерешенными проблемы поддержания и развития материальной базы специализированного хранилища в Ухте. Требуется создание нового специализированного хранилища для обработанного каменного материала, ценных палеонтологических, минералогических и других коллекций, собранных при проведении работ на территории Республики Коми.

**Участники XVIII Геологического съезда Республики Коми, обращаясь к Правительству Республики Коми, федеральным и региональным органам государственного управления, компаниям-недропользователям, научно-исследовательским организациям, считают необходимым:**

1. Разработать конкретные мероприятия по реализации на территории Республики Коми и прилегающих регионов задач, обозначенных Стратегией развития Арктической зоны Российской Федерации, Стратегией пространственного развития Российской Федерации, Стратегией развития минерально-сырьевой базы, Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, программами развития отраслей промышленности и другими федеральными программами. Особое внимание следует уделить развитию Воркутинского углепромышленного района и других арктических территорий.

2. Рекомендовать Правительству Республики Коми совместно с заинтересованными лицами (Севзапнедра, ВНИГНИ, ВИМС, Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО

РАН, ТП НИЦ, Коминедра и др.) разработать и утвердить предложения по развитию минерально-сырьевому комплексу Республики Коми на долгосрочную перспективу (в виде Генеральной схемы развития минерально-сырьевому комплексу Республики Коми или аналогичного документа), определить направления развития сырьевой базы углеводородов, стратегического и особо важного для экономики минерального сырья, предусмотреть мероприятия, направленные на стабилизацию добычи угля, нефти, увеличение объемов добычи и переработки природного газа.

3. Считать основным направлением геолого-разведочных работ на нефть и газ дальнейшее изучение Северо-Предуральской нефтегазоносной области, включающей Коротаихинскую и Косью-Роговскую впадины совместно с грядой Чернышева, Денисовскую впадину Печоро-Колвинского авлакогена, территории Ухта-Ижемского нефтегазоносного района. Усилить исследования, направленные на решение проблемы глубоководных нефтей. Провести ревизию имеющихся материалов и рассмотреть перспективные направления работ в Вычегодской впадине.

4. Правительству Республики Коми совместно с заинтересованными лицами (АО «Боксит Тимана») с учетом особой важности поддержания добычи в Российской Федерации стратегических видов минерального сырья продолжить работу и принять решение по вопросу строительства автомобильной дороги к Верхневорыквинской залежи бокситов Вежаю-Ворыквинского месторождения.

5. Рекомендовать Минпромторгу России, Федеральному агентству по недропользованию и Российской академии наук с учетом поручений Президента Российской Федерации от 28.06.2022 №Пр-1130, направленных на развитие перспективной минерально-сырьевой базы, поддержать реализацию проекта по освоению Пижемского месторождения, разрабатываемого АО «РУСТИТАН» и создание на его базе национального горнопромышленного кластера в целях комплексного освоения месторождений титанового, кварцевого и других видов минерального сырья, расположенных на территории Республики Коми.

6. Усилить работы в области регионального геологического изучения недр, выделить на территории Республики Коми перспективные площади ранга рудных узлов с оцененными ресурсами категории  $P_3$  и обосновать проведение на них геолого-минералогического картирования (в масштабе 1 : 50 000, 1 : 25 000) с целью локализации рудных полей (потенциальных месторождений) с прогнозными ресурсами  $P_2$  для последующего лицензирования. Подготовить в течение 2025–2026 годов предложения по проведению опережающих геолого-съёмочных и поисковых работ (в вариантах ГМК-50, ГМК-25) в границах проектируемых транспортных коридоров («Белкомур», «Баренцкомур»), морских портов и отгрузочных терминалов («Индига», «Усть-Кара» и другие). В связи с возможностями, предоставляемыми новой редакцией «Закона о недрах» (Федеральный закон от 25 декабря 2023 г. N 656-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах»), выделить и предложить недропользователям участки для выполнения региональных работ масштаба 1 : 50 000 (25 000) за счет средств недропользователей или в софинансировании, разработав



и предусмотрев механизмы финансового стимулирования регионального геологического изучения недр частными инвесторами.

7. Рекомендовать Правительству Республики Коми рассмотреть вопрос о финансировании работ по переоценке минерально-сырьевой базы Республики Коми для выделения экономически рентабельной части запасов и прогнозных ресурсов на конкретных площадях и объектах, о подготовке обоснований для списания и снятия с учета Государственным балансом запасов месторождений, утративших свое промышленное значение вследствие геополитических, экономических, природных, экологических, технологических и иных обстоятельств. Аналогичную работу провести в отношении прогнозных ресурсов полезных ископаемых. Начать эту работу с месторождений торфа.

8. Рекомендовать Правительству Республики Коми обратиться в Министерство природных ресурсов Российской Федерации для решения совместно с Роснедра, Росгеолфондом вопроса о создании в Республике Коми, в Сыктывкаре, на базе Коми республиканского фонда геологической информации Коми филиала ФБУ «Территориальный фонд геологической информации по Северо-Западному Федеральному округу».

9. Институту геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Ухтинскому государственному техническому университету, ООО «ТП НИЦ», другим заинтересованным организациям продолжить изучение нетрадиционных ресурсов углеводородов, в первую очередь комплексов доманиковых и доманикоидных отложений. Разработать предложения по организации в Республике Коми технологических полигонов для изучения и подготовки к освоению запасов нефти и газа из низкопроницаемых коллекторов, добычи метана угольных пластов, внедрения новых способов разработки месторождений.

10. Поддержать предложение Главы Республики Коми В. В. Уйба о создании Коми нефтяной компании (Коминедра).

11. Предусмотреть подготовку комплекта карт, характеризующих строение осадочного чехла и фундамента Тимано-Печорской провинции (структурные карты по опорным горизонтам, литолого-фациальные — по стратиграфическим подразделениям, карты нефтегазоносных и нефтематеринских пород и др.). Адаптировать карты «Атласа геологического строения Тимано-Печорской провинции» с картами соответствующего масштаба, подготавливаемыми Институтом Карпинского (ВСЕГЕИ), создать электронную версию Атласа.

12. Институту геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и другим заинтересованным организациям продолжить работы по разработке и совершенствованию местных стратиграфических схем как основы картосоставительских, геолого-съёмочных и геолого-разведочных работ различного масштаба, по прослеживанию в разнофациальных разрезах региона границ подразделений Общей стратиграфической шкалы, по совершенствованию региональной стратиграфической схемы, особенно в силурийско-девонском интервале.

13. Усилить проведение научных исследований в Арктике. Рекомендовать Правительству Республики Коми совместно с федеральными органами исполнительной власти Российской Федерации продолжить ра-

боту по организации региональной сети мерзлотных станций (полигонов), станций сейсмического мониторинга для предупреждения и контроля за опасными проявлениями в геологической среде, а также для повышения уровня экологической безопасности. Совместно с органами местного самоуправления переработать существующие планы и разработать новые мероприятия, направленные на контроль паводковой обстановки, мониторинг абразии береговых зон, защитных дамб и сооружений, провести необходимые дополнительные инженерно-геологические и инженерно-экологические исследования.

14. ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Институту геологии) совместно с Роснедра (Севзапнедра), Росгеолфондом продолжить работу по признанию ФИЦ Коми НЦ УрО РАН организацией, эксплуатирующей специализированное камнехранилище, предусмотреть выделение новых площадей и строительство камнехранилища для сохранения обработанного каменного материала, ценных палеонтологических, минералогических и др. коллекций, образующихся при проведении работ на территории Республики Коми.

15. Продолжить совершенствование федерального и регионального законодательства, регулирующих отношения в области недропользования, охраны окружающей среды, а также в сфере особо охраняемых природных территорий, в том числе в части создания и функционирования охраняемых геологических объектов. Для сохранения облика геологических объектов (естественных и искусственных обнажений, стратиграфических разрезов, останцов и т. д.), находящихся под угрозой уничтожения или утраты, провести категоризацию объектов, подготовить и реализовать программу создания их цифровых двойников.

16. Рекомендовать Министерству экономического развития, промышленности и транспорта Республики Коми, Министерству образования и науки Республики Коми совместно с заинтересованными лицами (Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Ухтинский государственный технический университет, Сыктывкарский государственный университет, ООО «ТП НИЦ») подготовить для включения в Государственные программы «Развитие экономики и промышленности» и «Развитие образования» предложения по научно-инновационной деятельности и подготовке кадров. Обратит внимание на дальнейшую популяризацию геологических знаний.

17. Обсудить с администрациями городов Ухты и Сыктывкара, заинтересованными учреждениями и организациями, геологическим сообществом и принять согласованное решение по месту установки памятника «Геологам Севера» (архитектор И. Пылаев).

18. В целях более точного соответствия спектру обсуждаемых проблем и расширения круга заинтересованных участников, занимающихся геологическим изучением недр, проведением поисковых и разведочных работ, разработкой месторождений полезных ископаемых, переработкой и транспортировкой минерального сырья, технологическими, геолого-экономическими исследованиями, дать очередному съезду наименование «Горно-геологический съезд Республики Коми». Провести XIX «Горно-геологический съезд Республики Коми» в 2029 году.



## XVI Российский семинар «Технологическая минералогия: комплексная оценка нетрадиционных видов минерального сырья и их рациональное использование»

12 апреля 2024 года в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН состоялся XVI Российский семинар по технологической минералогии с тематической программой:

- Результаты минералого-технологических исследований по комплексной оценке руд сложного состава и техногенного сырья.
- Роль технологической минералогии в оценке минерально-сырьевой базы севера европейской части России.
- Исследования в области технологической минералогии, ориентированные на решение проблем импортозамещения конкретных видов минерального сырья и экологической безопасности.
- Аналитическое оборудование для исследований в области технологической минералогии.



Сопредседатели XVI Российского семинара по технологической минералогии доктора геолого-минералогических наук Е. Г. Ожогина и В. В. Щипцов

Co-chairs of the 16<sup>th</sup> Russian Seminar on Technological Mineralogy, Doctors of geological and mineralogical sciences E. G. Ozhogina and V. V. Shchiptsov

Программа семинара включала один пленарный и 16 устных и стендовых докладов. В работе приняли участие сотрудники из академических, учебных, отраслевых и производственных организаций: Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар), Института геологии ФИЦ КарНЦ РАН (Петрозаводск), Горного института УрО РАН (Пермь), Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова (Магнитогорск), ВИМС (Москва), ИЗК СО РАН, НПК «Спирит» (Иркутск), Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена, Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II (Санкт-Петербург).

### The 16<sup>th</sup> Russian seminar "Technological mineralogy: comprehensive assessment of non- conventional types of mineral raw materials and their rational use"

On April 12, 2024, the 16<sup>th</sup> Russian Seminar on Technological Mineralogy was held at the Institute of Geology Komi SC UB RAS with the thematic program:

- Results of mineralogical and technological researches for a comprehensive assessment of ores of complex composition and technogenic raw materials.
- The role of technological mineralogy in assessing the mineral resource base of the North of the European part of Russia.
- Researches in the field of technological mineralogy, focused on solving problems of import substitution of specific types of mineral raw materials and environmental safety.
- Analytical equipment for researches in the field of technological mineralogy.



Участники XVI Российского семинара по технологической минералогии

Participants of the 16<sup>th</sup> Russian Seminar on Technological Mineralogy

Участники семинара отметили высокий уровень докладов и комплексный подход к объектам исследований. После дискуссии было принято решение о публикации материалов докладов семинара в журналах «Вестник геонаук», «Известия Коми НЦ УрО РАН (серия «Науки о Земле»)», «Труды КарНЦ РАН (серия «Геология докембрия»)».

К. г.-м. н. Н. С. Ковальчук  
Фото А. В. Понярова



## Тишина вечности.

### Пленэр художников России на Приполярном Урале

Приполярный Урал уже не одну сотню лет неизменно вдохновляет людей с творческой жилкой на создание настоящих произведений искусства. Отправляться за вдохновением и познанием гармонии природы Севера в экспедиции стало для многих художников потребностью. Так, народный художник Российской Федерации Станислав Анфимович Торлопов в 1960—1980-е годы несколько раз участвовал в научно-исследовательских геологических экспедициях на Печору, Полярный Урал, в Арктику вместе с сотрудниками Института геологии. Художник Сергей Семёнович Асташев с 1987 по 1989 год тоже принимал участие в полевых экспедициях с нашими геологами и совершал многочисленные путешествия на Пай-Хой и Полярный Урал, в Арктику и на Югорский Шар, на Ямал и остров Вайгач. Встречи с грандиозной по масштабам природой этих заповедных мест Севера принесли мастерам новое ощущение пространства, изменили их отношение к окружающему миру, заставив острее воспринимать жизнь. Немало прекрасных полотен родилось у художников после этих экспедиций, их работы представлены в столичных и региональных музеях, в частных коллекциях в России и за рубежом, а также в стенах ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Сегодня Север также привлекает живописцев всех поколений со всех уголков России. С 14 по 22 августа 2023 года состоялся российский живописный пленэр «Вахта. Есть такая профессия — Родину рисовать» в Национальном парке «Югыд ва» Республики Коми. Проект был поддержан администрацией и краеведческим музеем Инты, Правительством Республики Коми и благотворительным фондом «САФМАР» (Москва).

В недельном пленэре приняли участие семь профессиональных художников и искусствоведов, членов Союза художников России: Иван Борисович Журавлев и Владимир Владиславович Видяйкин — стажеры творческой мастерской монументальной живописи, возглавляемой профессором В. А. Мыльниковой, и педагоги подготовительного отделения Санкт-Петербургской академии художеств им. Е. И. Репина; Светлана Михайловна Грачёва — эксперт, доктор искусствоведения, профессор Санкт-Петербургской академии художеств им. И. Е. Репина, член-корреспондент РАХ (Санкт-Петербург); Светлана Александровна Бутакова и Анастасия Владимировна Денисова — доценты кафедры изобразительного искусства Института культуры и искусства Сыктывкарского государственного университета имени Питирима Сорокина; Ольга Владимировна Орлова — куратор пленэра, заведующая отделом музейно-исследовательской работы Национальной галереи Республики Коми (Сыктывкар); Аркадий Львович Николаев — преподаватель архитектурной колористики, живописи и графики Вятского государственного университета (Киров).

Проблема гуманизации среды, подъем духовного, нравственного начала средствами художественного творчества — все это делает актуальным проведение подобных пленэров на Приполярном Урале. К тому же это территория, которая всегда привлекала художников и на которой более 60 лет живёт и работает акварелист Виталий Викторович Трофимов, который с 2004

#### Silence of eternity.

#### The Russian painting plein air at the Subpolar Urals

From August 14 to August 22, 2023, the Russian painting plein air "Shift art team. There is such a profession — to draw the Homeland" in the Yugyd Va National Park of the Komi Republic. Professional artists and art experts took part in the week-long cultural expedition. The artists received new impressions of the protected places of the Subpolar Urals and created paintings from nature. The plein air ended with a public final display of artwork at the Inta Museum of Local Lore. The project became a landmark event in the cultural life of the Komi Republic.

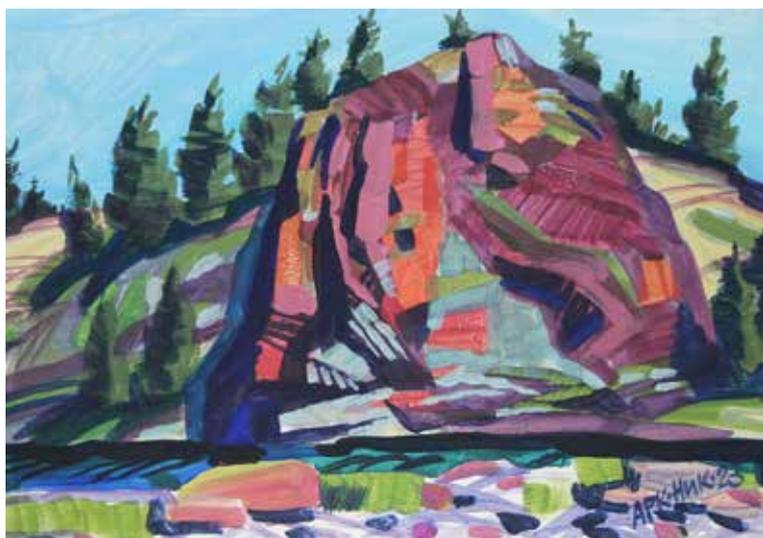
по 2007 год приглашал художников со всей страны к себе на Приполярный Урал. Виталий Трофимов — страстный путешественник — совершал поездки на Урал, в верховья Усы, Косью и Кожыма с геологическими экспедициями, в одиночку, с поисковыми партиями. Уникальные, манящие своей красотой ландшафты горного Урала стали главной темой всех его акварелей. Для Виталия Трофимова природа — необходимое условие существования. Живя в своём доме на Приполярном Урале под Интой, именно там он находит вдохновение.

Художникам пленэра августа 2023 года новые впечатления подарили заповедные места: русло Кожыма, каньоны, урочище Каменной Бабы, скалистые берега рек Балбанью, Сюрасьрузьвож, хребет Сюраиз, озёра Верхнее и Малое Балбанты, очертания вершин Народной, гора Еркусей (Шаман-гора), посёлок Желанное, база Санавож, искрящаяся белизна кварцевых дорог, заброшенная штольня с огромными ледяными кристаллами, предгорная тайга, тундра.

Неизбывная красота гор, аметистовые холодные озёра и реки органически вплелись в живописные и графические произведения. Широта панорамных монументальных мотивов в работах художников исполнена внутреннего напряжения. В акварелях Анастасии Денисовой нежные и звонкие краски вобрали в себя свежесть чистого воздуха гор.

Подлинность избранной Светланой Бутаковой гаммы тонко передаёт ощущение Севера.

Серыми, зелёными, прозрачно-голубыми тонами передана органическая связь цветового строя картины с ощущением живой природы у Владимира Видяйкина. Его поэтические образы («Кожым», «Каменная Баба»), выполненные в традиционной для академической живописи манере, с тщательной проработкой деталей, выписанных в лессировочной манере, имеют картинную завершенность и даже «музейность» (Грачева, 2023, с. 151). Архитектурно-дизайнерское мышление виртуозно использовал в ярких декоративных пейзажных акриловых композициях Аркадий Николаев. «В загадочных скалах реки Балбанью художник увидел и передал сложность рельефных очертаний, смелые светотеневые контрасты, яркие цветовые пятна в неожиданных сочетаниях. В панорамных видах Кожыма мощь и неукротимость прекраснейшей реки Урала раскры-



**Рис. 1.** Николаев Аркадий Львович (Киров).  
Красный камень. Холст, акрил  
**Fig. 1.** Nikolaev Arkady Lvovich (Kirov). Red stone.  
Canvas, acrylic

**Рис. 2.** Денисова Анастасия Владимировна  
(Сыктывкар). Вид с переправы. 2023. Бумага,  
акварель

**Fig. 2.** Denisova Anastasia Vladimirovna  
(Syktyvkar). View from the crossing. 2023. Paper,  
watercolor



**Рис. 3.** Бутакова Светлана Александровна.  
База «Переправа»

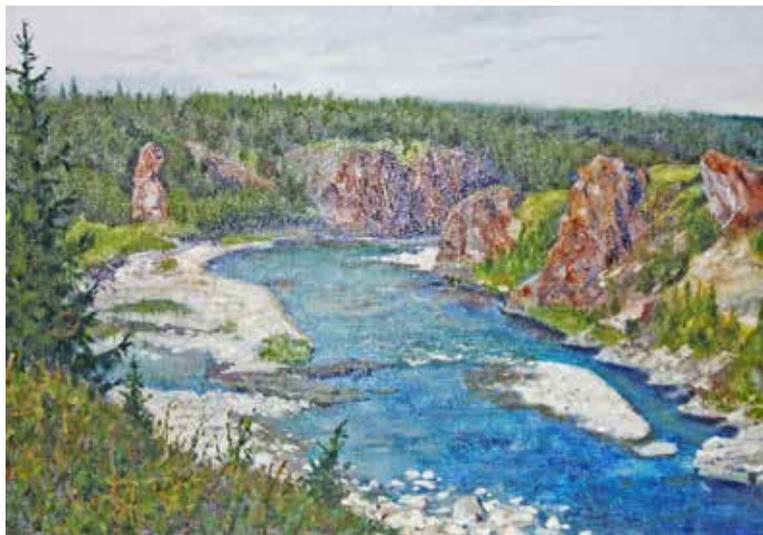
**Fig. 3.** Butakova Svetlana Alexandrovna.  
Base "Crossing area"

ты через геометричность форм, усиленных смелыми цветными пятнами сложносмешанных акриловых красок» (Грачева, 2023, с. 150).

Работы Ивана Журавлёва, написанные также масляными красками, выполнены пастозно, обобщённо и, несмотря на небольшие размеры, достигают монументальности.

Недельное пребывание на Приполярном Урале подарило участникам солнце, «голубец» и хмурость неба, снег, штормовой ветер, дождь, радужность, цветение, увядание... Мир здесь воспринимается в его необъят-

ности и гармоничном единстве. Здесь он единый, первородный. Впечатление усиливается от величественности и грандиозности ландшафта. Стоя у подножья гигантских вершин или останцов, понимаешь огромную силу природы. Художникам было трудно и одновременно легко выразить в пейзажной картине своё понимание этой «вечной красоты», естественности и изменчивости природы. На Приполярном Урале она напоминает о неумолимом движении времени. Образы природы всегда связаны с размышлениями о быстротечности жизни.



**Рис. 4.** Видяйкин Владимир Владиславович (Санкт-Петербург). Долина Каменной Бабы. 2023. Холст, масло

**Fig. 4.** Vidyaykin Vladimir Vladislavovich (St. Petersburg). Valley of the Stone Woman 2023. Canvas, oil



**Рис. 5.** Журавлев Иван Борисович (Санкт-Петербург). На горе. 2023. Холст, масло

**Fig. 5.** Zhuravlev Ivan Borisovich (St. Petersburg). On the mountain. 2023. Canvas, oil

Созданные живописцами, графиками произведения — всё это разность суждений о бесконечной красоте и величии мира. Задача была проста — передать ощущение целостности мира. Зрительные наблюдения живой, потрясающей, нетронутой природы помогли создавать художественные образы, способные отражать глубокое духовное переживание.

Итог пленэра — диалог между двумя мирами: бескрайним величием, грандиозностью и мощью природы и человеком.

Пленэр завершился публичным итоговым показом в Интинском краеведческом музее и стал знаковым событием в культурной жизни Инты и Республики Коми.

Сообщение об этом событии прозвучало на XVIII Геологическом съезде Республики Коми на секции

«История геологических исследований. Геологическое наследие. Геологическое образование» в апреле 2024 г.

### Литература / References

Грачева С. М. «Вахта» на переправе (о российском живописном пленэре, который проходил в Национальном парке «Югыд ва» в августе 2023 года) // АРТ. 2023. № 4. С. 150—156.

Gracheva S. M. "Shift" at the crossing. (about the Russian picturesque plein air, which took place in the Yugyd Va National Park in August 2023). ART, 2023, No. 4, pp. 150—156.

**О. В. Орлова**

Национальная галерея Республики Коми,  
[leka-orlova@mail.ru](mailto:leka-orlova@mail.ru)

Редакторы издательства:

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

Компьютерная верстка

Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 28.06.2024. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1230. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: [vestnik@geo.komisc.ru](mailto:vestnik@geo.komisc.ru)

На обложке использованы фото П. Безносова, А. Перетягина, Н. Уляшевой, А. Иевлева, Н. Сокериной