



Содержание

Научные статьи

О барической фрагментации железа
и природе текучести внешнего ядра Земли

М. Н. Магомедов 3

Типизация циркона щелочно-гранитного массива
Халдзан-Бурэгтэг (Западная Монголия)

К. С. Зенина, С. И. Коноваленко 8

Состав и микроструктура пластовых
строматолитов караярвинской свиты
полуострова Средний (северо-восточное
обрамление Кольского полуострова)

Ю. В. Михайленко 12

Новый тип наноструктур атомарного
разрешения в алмазоподобных и других
углеродных веществах

Т. Г. Шуилова, Е. Майер, К. Герварц 19

Роль президента Академии наук СССР
А. П. Карпинского в развитии научного
потенциала страны в первой трети XX века
Часть 2. *М. П. Роцевский,*

Л. П. Роцевская, А. А. Бровина 25

Хроника, события, факты

В зеркале прессы 29

Памяти академика Н. П. Юшкина 31

Главный редактор А. М. Асхабов, зам. главного редактора О. Б. Котова,
ответственный секретарь Т. М. Безносова, зав. редакцией Т. А. Некучаева

Редакционный совет:

А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
И. Н. Бурцев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
Н. Н. Герасимов, Москва, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
Г. Н. Каблис, Сыктывкар, Россия
Р. И. Конеев, Ташкент, Узбекистан

И. В. Козырева, Сыктывкар, Россия
В. А. Коротеев, Екатеринбург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
Ж. К. Мелгарехо, Барселона, Испания
Д. В. Паранин, Ухта, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия



May, No 5 (245), 2015

Vestnik



Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS

Scientific information edition founded by Academician N. P. Yushkin in 1995

Content

Scientific articles

- | | | | |
|---|----|--|----|
| Baric Fragmentation of Iron and Nature of Fluidity of External Earth's Core
<i>M. N. Magomedov</i> | 3 | New type of atomic scale nanostructures in diamond-like and other carbon substances
<i>T. G. Shumilova, J. Mayer, C. Herwartz</i> | 19 |
| Typification of zircon of alkaline granite Khaldzan-Buregteg massif (Western Mongolia)
<i>K. S. Zenina, S. I. Konovalenko</i> | 8 | Role of the president of the USSR Academy of Sciences A. P. Karpinsky in the country scientific potential development in the first third of the XX century. Part 2. <i>M. P. Roshchevsky, L. P. Roshchevskaya, A. A. Brovina</i> | 25 |
| Composition and microstructure of stratiform stromatolites of Karuyarvinskoy Suite in Sredny peninsula (northeastern framing of the Kola peninsula)
<i>J. V. Mikhailenko</i> | 12 | | |

Chronicle, events, facts

- May Chronicle 30

Chief Editor A. M. Askhabov, **Deputy Chief Editor** O. B. Kotova,
Executive Director T. M. Beznosova, **Managing Editor** T. A. Nekuchaeva

Editorial Board:

- | | |
|---|--|
| <i>Anna I. Antoshkina</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Irina V. Kozyreva</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Maarten A.T.M. Broekmans</i> , Trondheim, Norway | <i>Viktor A. Koroteev</i> , Ekaterinburg, Russia |
| <i>Igor N. Burtsev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Sergey K. Kuznetsov</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Dmitry A. Bushnev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Tatyana P. Mayorova</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Mikhail A. Fedonkin</i> , Moscow, Russia | <i>Peep Mõnnik</i> , Tallinn, Estonia |
| <i>Nikolay N. Gerasimov</i> , Moscow, Russia | <i>Joan Carles Melgarejo</i> , Barcelona, Spain |
| <i>Alexey D. Gvishiani</i> , Moscow, Russia | <i>Dmitry V. Pararin</i> , Ukhta, Russia |
| <i>Grigory N. Kablis</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Alexander M. Pystin</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Rustam I. Koneev</i> , Tashkent, Uzbekistan | <i>Oksana V. Udoratina</i> , Syktyvkar, Russia |



УДК 550.36 + 551.16

О БАРИЧЕСКОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ ЖЕЛЕЗА И ПРИРОДЕ ТЕКУЧЕСТИ ВНЕШНЕГО ЯДРА ЗЕМЛИ

М. Н. Магомедов

Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, Махачкала
mahmag4@mail.ru

Рассчитаны зависимости удельной поверхностной энергии (σ) и коэффициента самодиффузии в железе от относительного объема (V/V_0). Оценены значения V/V_0 и давления, при которых реализуется условие фрагментации: $\sigma < 0$. Показано, что наблюдающиеся на разделе Гутенберга эффекты можно объяснить переходом кристаллического вещества в «дисперсное» текучее состояние из-за бариической экзотермической фрагментации железа.

Ключевые слова: ядро Земли, мантия, железо, поверхностная энергия, диффузия, фрагментация.

BARIC FRAGMENTATION OF IRON AND NATURE OF FLUIDITY OF EXTERNAL EARTH'S CORE

M. N. Magomedov

Institute for Geothermal Research of Daghestan Scientific Centre of RAS, Makhachkala

Nature of the liquid-like behavior of matter in the external Earth's core is not fully clear until now. It is known that the Earth's core consists of 94 % iron. To study the nature of external Earth's core the dependences of specific surface energy (σ) and the self-diffusion coefficient (D_f) versus the relative volume (V/V_0) are calculated for the iron. For description of the pair interaction of atoms of iron, the Mie-Lennard-Jones potential was used. For the calculations of dependences $\sigma(V/V_0)$ and $D_f(V/V_0)$ the author's methods were used. We evaluated the values of V/V_0 and pressures, under which the fragmentation condition for the crystal of iron was realized: $\sigma < 0$. The results showed that the Gutenberg's boundary effects can be explained by the transition of crystal substance to the "dispersing" fluid state because of the exothermal fragmentation of the iron. It is pointed out that the nature of geothermal heat can also be explained by the effect of baric exothermic fragmentation of iron.

Keywords: core of Earth, mantle, iron, surface energy, diffusion, fragmentation.

Введение

Известно, что строение Земли имеет неоднородный характер. Согласно модели Земли Р. Хаддона и К. Буллена на глубине 2900 км (раздел Гутенберга) наблюдается резкое увеличение плотности, рост электропроводности с одновременным падением скорости сейсмических волн и вязкости вещества. Данные эффекты (в особенности исчезновение поперечной составляющей скорости сейсмических волн) привели к заключению, что внешнее ядро Земли (находящееся на глубине от 2900 до 5000 км) находится в жидком состоянии [3, 10]. При этом внутреннее ядро Земли, состоящее из тех же веществ (в основном это железо и никель), оказывается в твердом состоянии. Возникает вопрос: почему ядро, плавающее в расплаве тех же металлов, из которых оно состоит, остается в твердой фазе?

Известно также, что возникновение геотермального тепла нельзя в полной мере объяснить только лишь

распадом радиоактивных изотопов калия, урана, тория и др. [12, 4]. Поэтому вопрос о возникновении тепла Земли также остается открытым. Исходя из результатов, полученных нами в работах [5—8], можно предположить, что одним из источников геотермального тепла является процесс экзотермического диспергирования кристаллов под давлением. Этим же барическим диспергированием вещества можно объяснить и наблюдающиеся на разделе Гутенберга эффекты (резкое увеличение плотности с одновременным падением скорости сейсмических волн и вязкости вещества). Обоснованию этой гипотезы и посвящена данная работа.

О методике и результатах расчетов для железа

Используемые ныне различные критерии разрушения вещества и формирования поверхностей раздела при сжатии либо растяжении кристалла содержат в своем формализме такие параметры, как удельная (на еди-

ницу площади) поверхностная энергия (σ) и коэффициент самодиффузии (D_f). Причем если функцию σ используют при прогнозе условий образования трещины, то функцию D_f для изучения кинетики развития трещины при различных давлениях (P) и температурах (T). Очевидно, что функции σ и D_f зависят от P - T -аргументов, однако в большинстве случаев используют значения функций σ и D_f , полученные при невысоких температурах и при $P = 0$. Это связано с тем, что экспериментальных данных для σ и D_f при высоких P - T -условиях нет, а теоретические прогнозы используют в своем формализме различные подгоночные параметры, поведение которых в таких случаях трудно предсказать. Поэтому нами разработана аналитическая методика, описывающая с единых позиций зависимость функций σ и D_f как от температуры, так и от V/V_0 — относительного объема кристалла. Под «едиными позициями» здесь подразумевается, что в формализм модели не входят никакие под-

гоночные константы, кроме параметров межатомного потенциала, массы атома и структуры кристалла. Здесь V/V_0 — отношение объемов при P и T , и при $P = 0$ и $T = 0$ К.

Разработанная нами методика подробно описана в работах [5, 7, 8]. Как показано [5], данный метод позволяет хорошо описать функции $\sigma(V/V_0, T)$ и $D_f(V/V_0, T)$ как при изотермическом сжатии, так и при растяжении кристалла, как при высоких температурах, так и при $T = 0$ К. Поэтому мы использовали эту методику для расчетов свойств железа при P - T -параметрах, присущих ядру Земли.

Представим парное межатомное взаимодействие в виде потенциала Ми-Леннард-Джонса, имеющего вид [5, гл. 3]:

$$\varphi(r) = \frac{D}{(b-a)} \left[a \left(\frac{r_0}{r} \right)^b - b \left(\frac{r_0}{r} \right)^a \right] \quad (1),$$

где D и r_0 — глубина и координата минимума потенциала, b и a — параметры: $b > a > 1$.

Для проведения расчетов возьмем железо ($m = 55.847$ а. е. м.) с объемно-центрированной кубической (ОЦК) структурой. ОЦК-структура выбрана потому, что при высоких P - T -условиях железо переходит в β -фазу, структура которой рыхлее, чем гранецентрированная кубическая (ГЦК) структура γ -фазы или гексагональная плотно упакованная (ГПУ) структура ϵ -фазы. Параметры тройной точки между этими фазами (γ - ϵ - β), согласно работе [13], равны: $P = 37$ ГПа = 370 кбар и $T = 1550$ К.

Параметры парного межатомного потенциала Ми-Леннард-Джонса (1) для железа, определенные самосогласованным методом в [5], равны:

$$\begin{aligned} r_0 &= 2.4775 \cdot 10^{-10} \text{ м}, \\ D/k_B &= 12576.7 \text{ К}, \\ a &= 3.58, b = 8.26. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда значение нормального объема для нашей модели кристалла будет равно: $V_0 = N (\pi/6 k_p) r_0^3 = 7.0494 \text{ см}^3/\text{моль}$, где k_p — коэффициент упаковки структуры, который для ОЦК-решетки равен: $k_p = 0.6802$.

В таблице 1 представлены результаты расчетов при $V/V_0 = 1$ (т.е. при $P \approx 0$) для ϕ_v — вероятности образования вакансии в решетке кристалла, D_f — коэффициента самодиффузии (в $\text{см}^2/\text{с}$) и σ — удельной поверхностной энергии (в $10^{-3} \text{ Дж}/\text{м}^2$) грани (100) ОЦК-Fe. Расчеты выполнены для температур 300 и 3000 К. Оценки других авторов при $P=0$ и температурах,

близких к плавлению железа ($T_m = 1810$ К), равны [5]:

$$\begin{aligned} -\lg(\phi_v) &= 2.43 \pm 3, \\ -\lg(D_f/[\text{см}^2/\text{с}]) &= 7.1 \pm 8.7, \\ \sigma(100) &= 1720 \pm 2480 [10^{-3} \text{ Дж}/\text{м}^2]. \end{aligned}$$

Как видно, согласие рассчитанных значений с экспериментальными вполне хорошее.

На рис. 1 показаны изотермические зависимости функции $\sigma(100)$ от аргумента V/V_0 вдоль изотерм 300 и 3000 К. Вертикаль показывает область экспериментальных данных для $\sigma(100)$ при $P \approx 0$. Функция $\sigma(V/V_0)$ достигает максимума при небольших сжатиях $(V/V_0)_{\max}$, после чего резко уменьшается, переходя при $(V/V_0)_f$ в область отрицательных значений. На рис. 1 видно, что с ростом температуры условие фрагментации ($\sigma \leq 0$) достигается при меньших степенях сжатия.

При сжатиях в области $V/V_0 < (V/V_0)_f$ кристаллу энергетически вы-

годно любым путем увеличить свою удельную (на атом) поверхность, либо свободную, либо междоменную, ибо здесь $\sigma \leq 0$. Флуктуационно отделившийся от кристалла и образовавший поверхность (свободную или междоменную) домен в таких условиях будет испытывать дополнительное «поверхностное» давление [5, 7], которое тем больше, чем меньше размер домена. Это «поверхностное» давление еще более сожмет флуктуационно отделившийся домен, что приведет к самосжатию образующихся при фрагментации доменов и к освобождению некоторого пространства между ними. Образуемое при этом «дисперсное» состояние вещества будет текучим, подобно жидкой фазе: оно примет форму сосуда, в котором находится. Вязкость «дисперсного» состояния будет тем меньше, чем больше сжимающее давление и чем меньше размер доменов.

Таблица 1

Результаты расчетов вероятности образования вакансии в решетке, D_f — коэффициента самодиффузии и удельной поверхностной энергии грани (100) ОЦК-Fe при $V/V_0 = 1$ (т.е. при $P \approx 0$)

Table 1

Results of calculations of probability of vacancy creation into lattice, D_f is the self-diffusion coefficient and the specific surface energy of (100) face for BCC-Fe at $V/V_0 = 1$ (i.e. at $P \approx 0$)

$T, \text{ К}$	$-\lg(\phi_v)$	$-\lg(D_f/[\text{см}^2/\text{с}])$	$\sigma(100), 10^{-3} \text{ Дж}/\text{м}^2$
300	38.083	59.579	2223.16
3000	4.867	8.545	2045.43

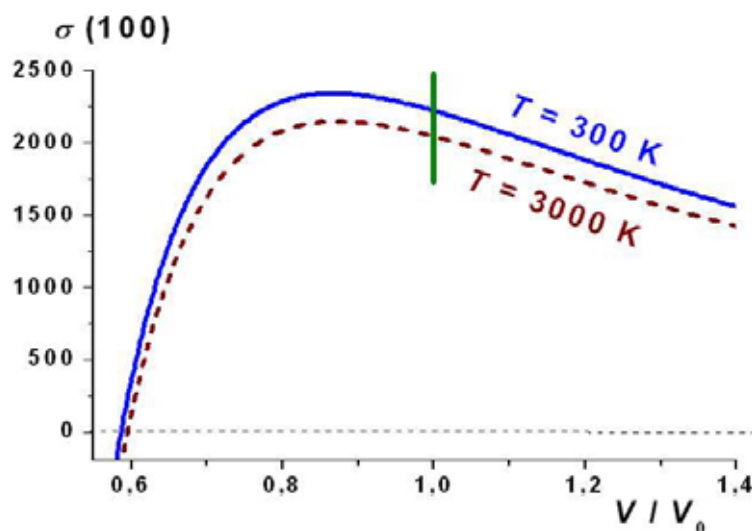


Рис. 1. Изотермические зависимости $\sigma(V/V_0)$ вдоль двух изотерм: 300 К — сплошная линия, 3000 К — пунктир. Вертикаль показывает область разброса экспериментальных данных для σ при $P \approx 0$. Размерность σ — $10^{-3} \text{ Дж}/\text{м}^2$

Fig. 1. Isothermal dependences $\sigma(V/V_0)$ along two isotherms: 300 K — continuous line, 3000 K — dotted line. A vertical line shows the area of variation of experimental data for σ at $P \approx 0$. A unit of measure for σ is $10^{-3} \text{ J}/\text{m}^2$



Таким образом, при $V/V_0 < (V/V_0)_{fr}$ реализуется экзотермический процесс фрагментации кристалла, который приводит к росту плотности образующихся доменов, к уменьшению вязкости образующейся «дисперсной» среды и к генерации тепла. Размерная зависимость функции σ , размерное сжатие и барическая теплогенерация для ОЦК-Fe были изучены нами в работе [7].

В таблице 2 представлены координаты точки максимума: $(V/V_0)_{max}$ и $(V/V_0)_{fr}$ — точки фрагментации, где $\sigma = 0$ на изотермах зависимости $\sigma(V/V_0)$ из рис. 1. В табл. 2 указаны также соответствующие данным точкам давления, рассчитанные по экспериментальной зависимости для «холодной» (упругой) составляющей давления, взятые из обзора [13]: $P_x = \rho_0 C_0^2 [(V/V_0)^{-n} - 1] / n$. Здесь для различных фаз железа использованы следующие параметры:

для ГПУ- ϵ -Fe (полученные до 2.5 Мбар): $\rho_0 = 8.3 \text{ г/см}^3$, $C_0 = 4.444 \text{ км/с}$, $n = 4.88$, для ГЦК- γ -Fe (полученные до 0.4 Мбар): $\rho_0 = 7.98 \text{ г/см}^3$, $C_0 = 4.57 \text{ км/с}$, $n = 4.0$.

Для ОЦК-Fe мы использовали зависимости $P(V/V_0, T)$, полученные в работе [13] методом молекулярной динамики для $T = 0$ и 3000 К (табл. 2 из [2]).

На рис. 2 показана зависимость $\lg(D_f)$ от V/V_0 вдоль изотерм 300 и 3000 К. Как видно, при сжатии коэффициент самодиффузии уменьшается, причем при $V/V_0 \rightarrow 0.1$ зависимость от температуры исчезает. Это объясняется квантовыми эффектами: при $V/V_0 \rightarrow 0.1$ межатомное расстояние становится сравнимым с амплитудой колебаний атомов, что приводит к туннельному переносу атомов по объему кристалла.

При фрагментации возрастает роль межкристаллитной самодиффузии. Поэтому результаты для изотерм $D_f(V/V_0)$ из рис. 2 справедливы только при $V/V_0 > (V/V_0)_{fr}$. Отклонение из-

меренной при $V/V_0 < (V/V_0)_{fr}$ изотермической зависимости $D_f(V/V_0)$ от полученной здесь зависимости для железа можно использовать для индикации барической фрагментации и для оценки роли межкристаллитной самодиффузии по «дисперсной» текучей среде.

Обсуждение результатов

Исходя из эффекта барической фрагментации (т.е. $\sigma \leq 0$) нами была выдвинута гипотеза, согласно которой наблюдающиеся на границе нижней мантии и верхнего ядра Земли (D'' -слой на глубине от 2700 до 2900 км, где $P \geq 1.4$ Мбар и $T \geq 3500$ К) эффекты (резкое увеличение плотности, рост электропроводности с одновременным падением скорости сейсмических волн и вязкости вещества) можно объяснить переходом вещества в «дисперсное» текучее состояние при высоких P - T -условиях [5, 7]. Именно

барическим диспергированием вещества можно объяснить как жидкоподобное поведение вещества во внешнем ядре Земли (на глубине от 2890 до 5150 км, где $1.33 < P < 3.3$ Мбар и $3500 < T < 6300$ К), так и природу геотермального тепла (которое нельзя объяснить только лишь распадом радиоактивных изотопов К, U, Th и др.). Как видно из табл. 2, значения P - T -параметров для реализации барической экзотермической фрагментации вполне достижимы во внешнем ядре Земли, которое содержит не менее 94 % Fe.

Отметим, что на «неустойчивость» кристалла железа при высоких давлениях было указано также в работе [15]. Но вместо межатомного потенциала Ми-Леннард-Джонса (1) там использовали межатомный потенциал Ридберга. Для давлений, присущих ядру Земли, и при $T = 0$ К в [15] была оценена величина относитель-

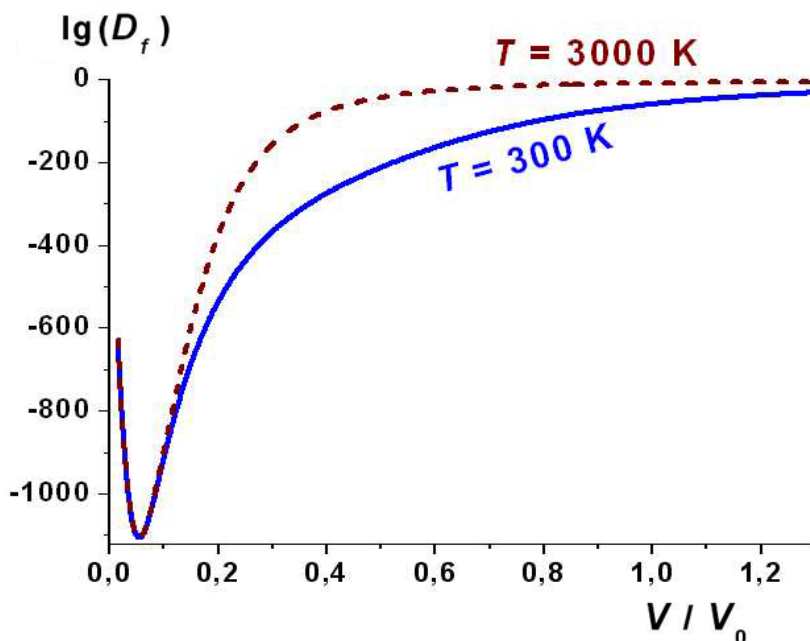


Рис. 2. Изотермические зависимости функции $\lg(D_f)$ от аргумента V/V_0 вдоль изотерм 300 К (сплошная линия) и 3000 К (пунктир)

Fig. 2. Isothermal dependences of function of $\lg(D_f)$ on argument V/V_0 along isotherms 300 K (continuous line) and 3000 K (dotted line)

Таблица 2

Координаты точки максимума $(V/V_0)_{max}$ и точки фрагментации $(V/V_0)_{fr}$ на изотермах зависимости $\sigma(V/V_0)$ из рис. 1 и соответствующие им давления

Table 2

Coordinates of the point of maximum $(V/V_0)_{max}$ and the point of fragmentation $(V/V_0)_{fr}$ on the isotherms of dependence $\sigma(V/V_0)$ from fig. 1 and corresponding pressures

T К	$(V/V_0)_{max}$	σ_{max} 10^{-3} Дж/м^2	P_ϵ [13] кбар	P_γ [13] кбар	P_β [2] кбар	$(V/V_0)_{fr}$	$P_{\epsilon,fr}$ [13] Мбар	$P_{\gamma,fr}$ [13] Мбар	$P_{\beta,fr}$ [2] Мбар
300	0.866	2343.54	341.9	324.1	262.5	0.587	4.18	3.09	2.85
3000	0.874	2150.11	312.2	297.4	393.2	0.595	3.89	2.91	2.87



ного объема железа, начиная с которой кристалл становится «неустойчивым»: $(V/V_0) \approx 0.576$. Это достаточно близко к величинам, полученным нами.

Учитывая, что внутреннее ядро Земли вращается быстрее, чем мантия [3, 10], можно полагать, что вещество внешнего ядра испытывает за счет этого дополнительное динамическое давление, перемалывающее вещество в мелкодисперсное состояние. Такое перемалывание должно сопровождаться экзотермическим эффектом, т. е. выделением геотермального тепла. Оценки тепла, выделяющегося при барической фрагментации железа при различных P - T -условиях, сделаны нами в работе [7].

Но почему же в рамках данной модели барической фрагментации остается твердым (т. е. нетекучим) внутреннее ядро Земли? Ответ на этот вопрос кроется в динамике движения внутреннего ядра. И в первую очередь речь здесь идет о смещении внутреннего ядра как целого под действием приливных сил Луны. По оценкам различных авторов [1, 14], это смещение может достигать нескольких сотен метров. Легко понять, что данное смещение сопровождается сжатием вещества вдоль вектора силы притяжения и соответствующим растяжением вещества в противоположном (от центра Земли) направлении. Это сжатие, как было показано выше, должно приводить к фрагментации вещества и переходу его в текучее нанодисперсное состояние. Но при растяжении сжатого вещества оно опять переходит в твердое монолитное состояние. Именно эта смена сжатия вещества на его растяжение (из-за действия на вещество в центре ядра приливных сил) и приводит к существованию в центре Земли твердого внутреннего ядра. Это происходит из-за наличия в центре Земли области давлений, где $P < P_{fr}$ и стабильно «монолитное» состояние, которое «плавает» в нанодисперсной текучей фазе. При этом на полюсах, через которые проходит ось вращения «монолитного», а потому и твердого внутреннего ядра, толщина внешнего жидкого ядра должна быть меньше. Вдоль оси вращения твердого внутреннего ядра давление должно быть минимальным.

Перед вулканологами давно стоит вопрос: почему «проснувшийся» вулкан, выбросив при огромном давлении и температуре определенную дозу вещества, снова «успокаивает-

ся»? Ведь по физическим законам, если мантия и кора раскаляются до «расплава» внешнего ядра, где вещество находится под огромным давлением, то через этот вулкан должен вылететь весь «расплав» внешнего ядра, до выравнивания давления в ядре до атмосферного. **Почему же вулкан «закрывается», выбросив определенную дозу вещества?** С точки зрения предложенной нанодисперсной модели текучего внешнего ядра можно ответить следующее. Полученное барической фрагментацией «дисперсное» состояние (стабильное при $P > P_{fr}$), вырвавшись на поверхность (где $P < P_{fr}$), будет метастабильным. Поэтому при $P < P_{fr}$ «дисперсное» состояние переходит в «монолитное» с выделением энергии. При этом «монолитное» состояние будет «закупоривать» все трещины, куда проникла текучая дисперсная фаза. Выбросив определенную дозу расплава и снизив таким образом давление до $P < P_{fr}$, вулкан «закупорится» веществом в «монолитном» состоянии. Так как внутреннее давление минимально вдоль оси вращения твердого внутреннего ядра, то вулканическая активность и генерируемый тепловой поток на полюсах будут минимальны.

Вопрос о структуре ядра Земли до сих пор не решен [9]. Более того, все существующие модели ядра не могут ответить на основополагающие вопросы: почему внутреннее ядро твердое, в то время как менее нагретое внешнее ядро «жидкое»? Почему плотность внешнего жидкого ядра на 10 % ниже по сравнению с плотностью расплава железа [11]? Предложенная нанодисперсная модель внешнего ядра в состоянии ответить как на поставленные вопросы о структуре и свойствах ядра, так и на вопрос о генерации теплового потока из недр Земли.

Выводы

1. Показано, что при высоких P - T -условиях должен наблюдаться экзотермический процесс диспергирования кристалла, который, с одной стороны, приводит к резкому росту плотности образующихся нанокристаллов, а с другой — к резкому уменьшению вязкости образовавшейся диспергированной среды.

2. Оценены значения объема железа, необходимые для реализации экзотермической барической фрагментации: $(V/V_0)_{fr} = 0.6 - 0.59$. Показано, что они вполне реальны для ус-

ловий на разделе Гутенберга: $P = 135 - 150$ ГПа и $T = 4000$ К.

3. Наблюдающиеся на разделе Гутенберга эффекты (резкое увеличение плотности, рост электропроводности с одновременным падением скорости сейсмических волн и вязкости вещества) можно объяснить переходом макрокристаллического вещества в дисперсное нанокристаллическое состояние под влиянием сильного всестороннего давления и высокой температуры.

Автор выражает благодарность К. Н. Магомедову, З. М. Сурхаевой и М. М. Гаджиевой за плодотворные дискуссии и всестороннюю помощь в работе.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН (проект № 13П).

Литература

1. Авсюк Ю. Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН, 1996. 188 с.
2. Белащенко Д. К., Островский О. И. Молекулярно-динамическое моделирование ударного сжатия металлов // Журнал физической химии. 2011. Т. 85. № 6. С. 1063—1073.
3. Жарков В. Н., Трубицын В. П. Физика планетарных недр. М.: Наука, 1980. 448 с.
4. Магомедов К. М. Теоретические основы геотермии. М.: Наука, 2001. Гл. III. 277 с.
5. Магомедов М. Н. Изучение межатомного взаимодействия, образования вакансий и самодиффузии в кристаллах. М.: Физматлит, 2010. 544 с.
6. Магомедов М. Н. О барической фрагментации кристалла // Физика твердого тела. 2003. Т. 45. № 5. С. 907—909.
7. Магомедов М. Н. О поверхностных свойствах и барической фрагментации железа // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2012. № 5. С. 59—71.
8. Магомедов М. Н. О самодиффузии и поверхностной энергии при сжатии или растяжении кристалла железа // Журнал технической физики. 2013. Т. 83. № 3. С. 71—78.
9. Молоденский С. М. Коррективы в схему строения Земли по новым данным о приливах, нутации и собственных колебаниях // Физика Земли. 2010. № 7. С. 3—28.
10. Орленок В. В. Основы геофизики. Калининград: Изд-во КГУ, 2000. 446 с.
11. Пуцаровский Д. Ю., Оганов А. Р. Структурные перестройки мине-



ралов в глубинных оболочках Земли // Кристаллография. 2006. Т. 51. № 5. С. 819—829.

12. Смыслов А. А., Моисеенко У. Н., Чадович Т. З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. М.: Недра, 1978. 192 с.

13. Фунтиков А. И. Фазовая диаграмма и кривая плавления железа, полученные по данным статических и ударно-волновых измерений // Теплофизика высоких температур. 2003. Т. 41. № 6. С. 954—969.

14. Чуйкова Н. А., Казарян С. А., Пасынок С. Л. Учет внутреннего гравитационного и магнитного полей в анализе полярных колебаний внутреннего ядра Земли // Вестник МГУ. Серия 3. Физика и астрономия. 1997. № 2. С. 40—43.

15. Shanker J., Singh B. P. Compression Limit for Iron Based on Seismological Data // Physica B. 2005. V. 364. № 1—4. P. 186—189.

References

1. Avsyuk Yu. N. *Prilivnye sily i prirodnye protsessy* (Tide forces and natural processes). Moscow: OIFZ RAN, 1996, 188 pp.

2. Belaschenko D. K., Ostrovskii O. I. *Molekulyarnodinamicheskoe modelirovanie udarnogo szhatiya metallov* (molecular dynamic modeling of impact compaction of metals). *Zhurnal Fizicheskoi Khimii*, 2011, V. 85, No. 6, pp. 1063—1073.

3. Zharkov V. N., Trubitsyn V. P. *Fizika planetarnykh neдр* (Physics of planet subsurface). Moscow: Nauka, 1980, 448 pp.

4. Magomedov K. M. *Teoreticheskie osnovy geotermii* (Theoretical basics of geothermy). Moscow: Nauka, 2001, 277 pp.

5. Magomedov M. N. *Izucheniye mezhatomnogo vzaimodeistviya, obrazovaniya vakansii i samodiffuzii v kristallakh* (Study of interatomic interaction, vacancy formation and self-diffusion in crystals). Moscow: Fizmatlit, 2010, 544 pp.

6. Magomedov M. N. *O baricheskoi fragmentatsii kristalla* (Baric fragmentation of crystal) // *Physic of the Solid State*, 2003, V. 45, No. 5, pp. 953—956.

7. Magomedov M. N. *O poverhnostnykh svoistvakh i baricheskoi fragmentatsii zheleza* (On the Surface Properties and Baric Fragmentation of Iron) // *Journal of Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Technique*, 2012. V. 6, No. 3, pp. 430—441.

8. Magomedov M. N. *O samodiffuzii i poverhnostnoi energii pri szhatii ili rastyazhenii kristalla zheleza* (On Self-diffusion and Surface Energy upon Compression or Tension of an Iron Crystal) // *Technical Physics*, 2013. V. 58, No. 3, pp. 380—387.

9. Molodenskii S. M. *Korrektivy v shemu stroeniya Zemli po novym dannym o prilivakh, nutatsii i sobstvennykh kolebaniyakh* (Corections in map of Earth structure

according to new tide data). *Fizika Zemli*, 2010, No. 7, pp. 3—28.

10. Orlenok V. V. *Osnovy geofiziki* (Geophysics basics). Kaliningrad: KGU, 2000, 446 pp.

11. Puscharovskii D. Yu., Oganov A. R. *Strukturnye perestroiki mineralov v glubinykh obolochkah Zemli* (Structural changes of minerals in abyssal structures of the Earth). *Kristallografiya*, 2006, V. 51, No. 5, pp. 819—829.

12. Smyslov A. A., Moiseenko U. N., Chadovich T. Z. *Teplovoi rezhim i radioaktivnost' Zemli* (Thermal mode and radioactivity of the Earth). Moscow: Nedra, 1978, 192 pp.

13. Funtikov A. I. *Fazovaya diagramma i krivaya plavleniya zheleza, poluchennye po dannym staticheskikh i udarno-volnovykh izmerenii* (Phase diagram and iron melting curve according to statistical and impact-wave measures). *Teplofizika Vysokih Temperatur*, 2003, V. 41, No. 6, pp. 954—969.

14. Chuikova N. A., Kazaryan S. A., Pasyonok S. L. *Uchet vnutrennego gravitacionnogo i magnitnogo polei v analize pol-yarnykh kolebaniy vnutrennego yadra Zemli* (Consideration of internal gravitation and magnetic fields in analysis of polar fluctuations of internal core of the Earth). *Vestnik MGU*, 1997, No. 2, pp. 40—43.

15. Shanker J., Singh B. P. Compression Limit for Iron Based on Seismological Data. *Physica B*. 2005. V. 364, № 1—4, pp. 186—189.

Рецензент
академик А. М. Асхабов



УДК 549.02

ТИПИЗАЦИЯ ЦИРКОНА ЩЕЛОЧНО-ГРАНИТНОГО МАССИВА ХАЛДЗАН-БУРЭГТЭГ (ЗАПАДНАЯ МОНГОЛИЯ)

К. С. Зенина, С. И. Коноваленко

Томский государственный университет, Томск

kszenina@ggf.tsu.ru

В статье рассмотрены типоморфные особенности циркона массива Халдзан-Бурэгтэг, расположенного в Озерной зоне Западной Монголии. Циркон представлен во всех генетических типах оруденения массива — позднемагматическом, пегматитовом и пневматолито-гидротермальном. Проведена типизация минерала на основе его морфологических и типохимических признаков. Выделены два генетических типа циркона — магматический и метасоматический. Установлено, что кристаллизация минерала происходила в интервале температур от 750° (позднемагматический и пегматитовый) до 650—600 °С (пневматолито-гидротермальный). В смене типов и подтипов циркона прослеживается эволюция становления исследуемого щелочно-гранитного массива.

Ключевые слова: циркон, типохимизм, морфология, массив Халдзан-Бурэгтэг.

TYPIFICATION OF ZIRCON OF ALKALINE GRANITE KHALDZAN-BUREGTEG MASSIF (WESTERN MONGOLIA)

K. S. Zenina, S. I. Konovalenko

National Research Tomsk State University, Tomsk

The article describes the typomorphic features of zircon massif Khaldzan-Buregteg. The typochemistry and morphological features are typomorphic for mineral and evolve with the changing conditions of its formation. Therefore, the study of the chemical composition and morphological features of zircon has important scientific and practical value. Zircons were classified on the basis of its morphological signs and typochemism. The research was conducted on chemical composition, especially the mineral structure and ontogenic analysis was made. Two genetic types of zircon were determined — magmatic and metasomatic. For the first type — igneous, typical of rare-metal granites and pegmatites Thahirin and Khaldzan-Buregteg, the predominance of morphotypes P_3 and S_{14} was revealed. The second type of metasomatic — morphotypes characterized by Q_2 , G_1 and P_1 . It is established that the crystallization of zircon occurred in the temperature range from 750° (late-magmatic and pegmatitic) to 650—600 °C (pneumatolytic-hydrothermal). The change of the types and subtypes of zircon reveals the evolution of the formation of alkali-granite massif Khaldzan-Buregteg.

Keywords: zircon, typochemism, morphology, massif Khaldzan-Buregteg.

Введение

Профильная специализация редкометалльного оруденения сложнотифференцированного щелочно-гранитного массива Халдзан-Бурэгтэг, расположенного в Западной Монголии, в зоне регионального разлома, разделяющего каледониды Монгольского Алтая и ранние каледониды Озерной зоны, — Y-TR-Zr-Nb. Оруденение представлено разными генетическими типами — позднемагматическим, пегматитовым и пневматолито-гидротермальным. Наиболее широко проявлена во всех генетических типах оруденения циркониевая минерализация, которая включает такие минеральные виды,

как циркон, эльпидит, Са-эльпидит, кальциокатаплеит, бацирит и бадделит [1]. Характер минерализации заметно меняется при переходе от одного генетического типа к другому. Наиболее широкий спектр минералов Zr свойствен редкометалльным щелочно-гранитным пегматитам массива, в которых установлены практически все перечисленные минеральные виды, за исключением кальциокатаплеита. В поздних редкометалльных гранитах массива развиты циркон, эльпидит и гиттинсит. Для метасоматитов характерен только циркон и бадделит [1]. Как видно, циркон обнаружен во всех генетических типах циркониевой минерализации района [1, 2].

Задачи и методы исследования

Известно, что типохимизм и морфологические особенности минерала являются типоморфными и меняются при изменении условий его образования [3]. Поэтому изучение химического состава и морфологических особенностей циркона имеет важное научное и практическое значение. Авторами были проведены исследования химического состава (рентгеновский энергодисперсионный микроанализ Oxford INCA Energy-350, аналитик Д. В. Лычагин, рентгенофлуоресцентный анализ на спектрометре Oxford ED-2000, аналитик Е. Д. Агапова, ЦКП «АЦГПС»,



НИ ТГУ), особенностей структуры минерала (рентгеноструктурный анализ, аналитик Т. С. Небера, ЦКП «АЦГПС», НИ ТГУ) и онтогенетический анализ (стереомикроскоп Leica ES2). Для исследования были отобраны образцы циркона из редкометалльных гранитов и пегматитов Халдзан-Бурэгтэгского массива, а также из эпидот-кварцевых метасоматитов и щелочно-гранитных пегматитов Цахирина редкометалльного проявления, расположенного в экзоконтактной метасоматической зоне северного выхода массива.

Результаты

Циркон широко распространен в гранитах и пегматитовых жилах участка Халдзан-Бурэгтэг. Для гранитов, а также пегматоидных, субграфических и блоковых зон пегматитовых тел свойственны разнозернистые (размером до первых миллиметров), хорошо образованные кристаллы, рассеянные в полевошпатовом агрегате или присутствующие на границе с зернами кварца. Кристаллы циркона из гранитов относятся к морфотипу P_3 . Здесь и далее морфотипы выделяются согласно принятой классификации циркона, основанной на зависимости роста и вариации символов пирамидальных граней кристаллов циркона от химизма и степени неоднородности среды кристаллизации (IA — индекс апаитности) и призматических граней от температуры и водонасыщенности материнских и дифференцированных расплавов (It — индекс температуры) [3, 4]. Для всех зон первичной кристаллизации пегматитовых жил участка Халдзан-Бурэгтэг выявлен морфотип S_{14} . Более поздние генерации циркона в них связаны с формированием кварц-альбитового замещающего комплекса. В этом случае минерал представлен вкрапленностью изометричных и неправильных по форме зёрен, кристаллами и гнездообразными скоплениями. Обычно он ассоциирует с кварцем. Размеры зёрен циркона варьируют в пределах 0.5—2 мм, редко достигая больших величин. Доминирующие, хорошо образованные обелисковидные кристаллы соответствуют морфотипу Q_2 . В меньших количествах в жилах присутствуют ксеноморфные мелкозернистые (менее 1 мм) выделения циркона псевдоморфоз по эльпидиту. Псевдоморфозы слагает весьма тонкозернистый агрегат, состоящий из смеси циркона, альбита, кварца, флюорита,

иногда эгирина. Циркону псевдоморфоз свойствен морфотип G_1 . Характерной особенностью всех цирконов участка Халдзан-Бурэгтэг являются присутствующие в них радиоактивные дворики.

Циркон пегматитов и метасоматитов участка Цахирин различается визуально. Зерна и кристаллы циркона из метасоматитов имеют обычно зональное строение с наличием зон различной окраски. Для циркона метасоматитов типична розовато-коричневая окраска различной интенсивности, которая в пределе становится темно-бурой. Циркон пегматитов в целом заметно темнее. Его окраска всегда остаётся темно-бурой, варьируя лишь по интенсивности. Габитус циркона исследованных пород также отличается. В метасоматитах минерал представлен морфотипом P_1 и образует хорошо огранённые кристаллы размером до 3—4 мм. Циркон из щелочно-гранитных пегматитов участка Цахирин характеризуется морфотипом P_3 , размер его зерен и кристаллов достигает 2 мм. Радиоактивные изменения характерны только для циркона пегматитов участка, в метасоматитах они не обнаруживаются.

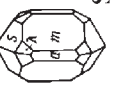
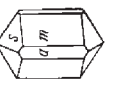
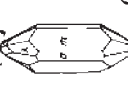
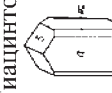
Типохимической особенностью циркона участка Халдзан-Бурэгтэг является повышенное содержание тория, отчасти урана и пониженное гафния. В большинстве проанализированных проб содержание ThO_2 варьирует на уровне 0.10—0.87 мас. %. Наиболее информативным в отношении химического состава оказался циркон пегматитов и метасоматитов участка Цахирин. По данным рентгено-флюоресцентного анализа, в цирконе метасоматитов и пегматитов обнаружен большой набор примесных элементов. Существенная часть их (Sn, TR, Hf, Nb, Fe, Ti), несомненно, имеет изоморфное происхождение, остальные, по-видимому, связаны с механическими включениями посторонних минеральных фаз (Cr, Sr, Ba, Ga и др.). В отличие от цирконов из пегматитов для большей части выделений этого минерала в метасоматитах не характерны метамиктные превращения и радиоактивные дворики, что свидетельствует о более низких концентрациях радиоактивных элементов. В то же время анализ одного из образцов показал содержание 0.26 % урана и 0.45 % тория. Отношение урана к торию для циркона участка Цахирин варьирует от 1.7 до 2.7 для метасоматитов и пегматитов соот-

ветственно. В составе всех проб циркона наблюдается устойчивая изоморфная примесь железа (0.4—0.76 мас. %), что отражает специфику процесса минералообразования на участке, характеризующуюся повышенным фоном щёлочности. При этом циркон метасоматитов отличается от циркона пегматитов аномально высокими концентрациями иттрия и других редких земель, а также Nb и Fe. Уровень накопления Hf в цирконе массива довольно низок и не достигает обычных средних значений (1 % HfO_2). При общей обеднённости примесями выделяется циркон пегматитов участка Цахирин, характеризующийся повышенным содержанием Hf (до 0.57 %) и, как следствие, более высоким Zr/Hf-отношением (0.67 против 0.34) в цирконе метасоматитов. Относительная обогащённость Hf циркона пегматитов и гранитов массива указывает на связь элемента с процессом кристаллизационной дифференциации, в то время как остальные элементы-примеси в минерале метасоматитов перераспределяются непосредственно в ходе процессов метасоматического замещения, частично захватываясь даже в форме механических включений посторонних микрофаз.

Для всех образцов циркона были получены рентгенограммы и рассчитаны параметры элементарной ячейки: циркон метасоматитов $a_0 = 6.58$; $c_0 = 5.93$ Å; циркон пегматитов участка Цахирин $a_0 = 6.58$; $c_0 = 5.95$ Å; циркон пегматитов участка Халдзан-Бурэгтэг $a_0 = 6.59$; $c_0 = 5.95$ Å; циркон гранитов $a_0 = 6.58$; $c_0 = 5.94$ Å; циркон из псевдоморфоз $a_0 = 6.59$; $c_0 = 5.93$ Å. Следствием реализации гетеровалентных схем замещения в ходе формирования минерала, сопровождавшегося вхождением в структуру меньших по размеру ионного радиуса катионов Fe^{3+} и Nb^{5+} , явилось уменьшение параметра C_0 элементарной ячейки циркона метасоматитов и псевдоморфоз до 5.93 вместо обычных 5.95 Å, свойственных циркону пегматитов и гранитов.

Все типы циркона, выделенные авторами, отличаются своеобразием химического состава и морфологии, что отражает особенности среды их минералообразования и дальнейшего преобразования. Обобщенный комплекс типоморфных признаков выделенных типов циркона Халдзан-Бу-

Типизация циркона массива Халдзан-Бурэтгэг
Typification of zircon Khaldzan-Buregteg massif

Участок	Порода	Зона	Кристаллохимическая формула	Окраска	Размер	Кристалло-морфологический тип	Ассоциация	Радиоактивные и метамиктные изменения	Особенности хим. сост.
Генетический тип циркона									
Магматический									
Халдзан-Бурэтг	Граниты	VII - фаза	$(Zr_{0.99}Th_{0.02})_{1.01}[SiO_4]$	Светло-бурая до темной, зональная	> 2 мм	Цирконовый 	Кварц	Характерны	Zr/Hf (0.51) ThO ₂ (0.67)
		Пегматоидная, графическая, блоковая зоны	$(Zr_{0.96}Th_{0.03}Fe_{0.02})_{1.01}[SiO_4]$	Светло-бурая до темной, зональная	>3 мм	Цирконовый 	Кварц, альбит	Характерны	Zr/Hf (0.61) ThO ₂ (0.87) Fe
		Блоковая зона	$(Zr_{0.97}Th_{0.02})_{0.99}[SiO_4]$	Бурая, темно-коричневая, нет зональности	> 2 мм	Цирконовый 	Кварц, альбит, алланит	Не характерны	Zr/Hf (0.67) ThO ₂ (0.05)
Метасоматический									
Халдзан-Бурэтг	Пегматитовая жила	Кварц-альбитовый замещающий комплекс	$(Zr_{0.96}Fe_{0.03}Th_{0.01})_{1.00}[SiO_4]$	Красновато-коричневая до розовой, зональная	> 2 мм	Обелисковидный 	Кварц	Характерны	ThO ₂ (0.10) Fe Zr/Hf (0.57)
		Псевдоморфозы по эльпидиту	$(Zr_{0.94}Fe_{0.04}Nb_{0.02}Th_{0.02})_{1.02}[SiO_4]$	Красновато-коричневая, нет зональности	<1 мм	Гиацинтовый 	Кварц, флюорит, альбит	Характерны	ThO ₂ (0.10) Fe Zr/Hf (0.62)
		Эпидот-алланит-кварцевые метасоматиты	$(Zr_{0.93}Nb_{0.05}Fe_{0.02}Th_{0.01})_{1.01}[SiO_4]$	Розовато-коричневая, зональная	2-4 мм	Гиацинтовый 	Алланит, эпидот, кварц	Не характерны	TR, Nb, Fe Zr/Hf (0.34)
Пахирино	Метасоматиты								



рэгтэгского массива представлен в таблице.

Выводы

Результаты всестороннего анализа типоморфизма циркона различных пород массива Халдзан-Бурэгтэг позволили провести его типизацию. Выделены два генетических типа циркона — магматический и метасоматический. Для первого типа, магматического, свойственного редкометалльным гранитам и пегматитам участков Цахирин и Халдзан-Бурэгтэг, выявлено преобладание морфотипов P_3 и S_{14} [3]. Данные морфотипы соответствуют температуре образования минерала 750 °С. Индекс температуры (It), отражающий зависимость кристалломорфологии циркона от температуры, составляет 500, а индекс популяции (IA), определяющий зависимость морфологии от щелочности, варьирует от 500 (в пегматитах) до 700 (в гранитах). Второй тип, метасоматический, характеризуется морфотипами Q_2 , G_1 и P_1 . Этим морфотипам соответствуют температуры кристаллизации от 600 до 700 °С. Так, для циркона кварц-альбитового замещающего комплекса пегматитов IA составляет 100, It — 400; для циркона из псевдоморфоз IA равен 700, It — 200; для циркона метасоматитов IA составляет 700, It — 300. В целом, согласно

морфологическому анализу циркона, его кристаллизация происходила в интервале температур от 750 °С (позднемагматический и пегматитовый) до 650—600 °С (пневматолито-гидротермальный). В смене типов и подтипов циркона прослеживается эволюция становления щелочно-гранитного массива Халдзан-Бурэгтэг.

Литература

1. Зенина К. С., Коноваленко С. И. Типоморфные особенности циркона метасоматитов и пегматитов Цахирина редкометалльного проявления (Западная Монголия) // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2013): Материалы минералог. семинара с междуна. уч. Сыктывкар, 2013. С. 201—202.
2. Kempe U. The genesis of Zr-Nb-REE mineralisation at KhalzanBuregte (Western Mongolia) reconsidered / U. Kempe, R. Möckel, T. Graupner, J. Kynicky, E. Dombon // Ore Geology Reviews. 2014. V. 64. P. 1—766.
3. Pupin J. P. Une tpeologic originale du zircon accessoire / J. P. Pupin, G. Turno // Bull. Soc. Franq. Miner. et cristallogr. 1972. V. 95. № 3. P. 348—359.
4. Watson E. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile / E. B.

Watson, D. A. Wark, J. B. Thomas // Contrib. Mineral. Petrol. 2006. V. 151. P. 413—433.

References

1. Zenina K. S., Konovalenko S. I. *Tipomorfne osobennosti cirkona metasomatitov i pegmatitov Cahirinskogo redkometallnogo proyavleniya (Zapadnaya Mongoliya)* (Typomorphic features of zircon metasomatic rocks and pegmatites Zakharenkova rare occurrence (Western Mongolia)). *Sovremennye problemi teoreticheskoi, eksperimentalnoi i prikladnoi mineralogii* (Yushkinskie chteniya — 2013). Syktyvkar, 2013. pp. 201—202.
2. Kempe U. The genesis of Zr-Nb-REE mineralisation at Khalzan Buregte (Western Mongolia) reconsidered / U. Kempe, R. Möckel, T. Graupner, J. Kynicky, E. Dombon. *Ore Geology Reviews*, 2014, V. 64, pp. 1—766.
3. Pupin J. P. Une tpeologic originale du zircon accessoire / J. P. Pupin, G. Turno. *Bull. Soc. Franq. Miner. et cristallogr.* 1972, V. 95, No. 3, pp. 348—359.
4. Watson E. B. Crystallization thermometers for zircon and rutile / E. B. Watson, D. A. Wark, J. B. Thomas. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2006, V. 151, pp. 413—433.

Рецензент

д. г.-м. н. С. К. Кузнецов



УДК 528.232 : 551.72 (470.21)

СОСТАВ И МИКРОСТРУКТУРА ПЛАСТОВЫХ СТРОМАТОЛИТОВ КАРУЯРВИНСКОЙ СВИТЫ ПОЛУОСТРОВА СРЕДНИЙ (СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЕ ОБРАМЛЕНИЕ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА)

Ю. В. Михайленко

Ухтинский государственный технический университет, Ухта

Yulia-v-m@mail.ru

Впервые исследованы строение, состав и микроструктура пластовых строматолитов, обнаруженных на п-ове Средний в каруярвинской свите кильдинской серии (рифей). Слоистость строматолитов обусловлена чередованием темных (органогенных) и светлых (терригенных) слоев. Сгустковая микроструктура и черные переплетающиеся нити, которые были обнаружены в темных доломитовых слоях, интерпретируются как следы микробиальной жизни.

Ключевые слова: *рифей, полуостров Средний, пластовые строматолиты, микроструктуры, каруярвинская свита.*

COMPOSITION AND MICROSTRUCTURE OF STRATIFORM STROMATOLITES OF KARUYARVINSKOV SUITE IN SREDNY PENINSULA (NORTHEASTERN FRAMING OF THE KOLA PENINSULA)

J. V. Mikhailenko

Ukhta State Technical University, Ukhta

The structure, composition and microstructure of the stratiform stromatolites, detected on the Middle Peninsula in Karuyarvinskoy Suite of the Kildin series (Riphean) are investigated for the first time. The lamination of the stromatolites is caused by alternation of dark (organic) and light (terrigenous) lamina. Clotted microfabric and black interwoven filaments, which were found within dark dolomite laminae, are interpreted as signs of microbial life traces.

Keywords: *Riphean, Middle Peninsula, stratiform stromatolites, microstructure, Karuyarvinskaya Suite.*

Введение

По результатам полевых работ (2006 г.) на п-ове Средний вдоль юго-восточного побережья губы Большая Волоковая была впервые доказана строматолитовая природа пластовых слоистых образований в составе песчаноцветной терригенно-карбонатной каруярвинской свиты среднего(?) — верхнего рифея [4, 10]. Таким образом, строматолиты п-ова Средний являются связующим звеном между рифейскими строматолитами п-ова Варангер и о. Кильдин, которые рассматриваются в составе известной строматолитовой формации, обрамляющей с северо-востока Восточно-Европейскую эпикарельскую платформу. Строматолитовая (карбостромо-вая) формация узкой полосой прослеживается вдоль Главного Тиманского разлома, который ограничивает ее с юго-запада, и его северо-запад-

ного продолжения — разлома Трольфиорд-Комагельв — на 2500 км от Полюдова Кряжа до Северной Норвегии [4, 14] и является важным биорефером при корреляции рифейских комплексов.

Цель настоящей работы заключается в характеристике пластовых строматолитов каруярвинской свиты п-ова Средний, основанной на полевых наблюдениях и результатах изучения ориентированных аншлифов, шлифов и свежих сколов образцов.

Объект исследований

Верхнедокембрийский комплекс дислоцированных и метаморфизованных осадочных пород широко распространен вдоль северной и северо-восточной периферии Кольского п-ова, где он залегает на гнейсах и гранитах архея — нижнего протерозоя. Наиболее крупные выходы и достаточно

полные разрезы его известны в пределах баренцевоморской акватории Кольского п-ова, на п-овах Средний, Рыбачий и о. Кильдин [7, 8, 11], а также на северо-востоке Норвегии, на п-ове Варангер [18]. Его юго-восточным продолжением принято считать рифейский комплекс байкалит п-ова Канин и Тиманского кряжа [3, 4, 8, 12]. Детальная характеристика геологического строения п-ов Средний, Рыбачий и о. Кильдин рассмотрена в ряде опубликованных работ [7—9, 11, 13, 15, 18 и др.].

Рифейский разрез п-ова Средний включает кильдинскую и волоковую серии. Кильдинская серия включает (снизу вверх): пярярвинскую, палвинскую, поропелонскую, землехтинскую и каруярвинскую свиты общей видимой мощностью около 1600 м. Разрез волоковой серии представлен (снизу вверх): куканской и

пуманской свитами (около 500 м) [12]. Вышеуказанные серии разделены перерывом с угловым несогласием. Изучение столбчатых строматолитов (о. Кильдин) и микрофитолитов в породах кильдинской серии, а также К-Аг-возраст по глаукониту (для п-ова Средний — 1059—619 млн лет, а для о. Кильдин — 1015—709 млн лет [1]) позволили большинству исследователей отнести кильдинскую серию к верхнему рифею, тогда как вышележащую волоковую серию — к верхнему рифею-венду(?) [7, 9, 11, 13, 15, 18].

Каруярвинская свита кильдинской серии имеет локальное развитие на северо-западном побережье и широкое вдоль северо-восточного побережья п-ова Средний, от устья ручья Выкат в направлении мыса Земляной. Она согласно залегает на землепахтинской свите, местами с тектоническим контактом. Свита сложена ритмично переслаивающимися, выветрелыми, пестроцветными от красных до зеленовато-серых преимущественно метаалевролитами, глинизированными метасланцами, а также темно-серыми доломитами, которые при выветривании приобретают палевую окраску. Они включают пластовые строматолиты, которые четко выделяются на общем фоне своей волнисто-слоистой текстурой. В строении свиты выделяются трехчленные ритмы мощностью около 3—3.5 м каждый (рис. 1, а). Общее количество ритмов в строении свиты вдоль побережья губы Большая Волоковая не менее 20, т. е. видимая мощность каруярвинской свиты около 70 м. Залегание пород вдоль побережья губы Большая Волоковая изменчивое, с преобладающим падением слоев на северо-восток под углами 4—20°.

Методы исследования

Аншлифы и шлифы пластовых строматолитов были изучены при помощи стереоскопического микроскопа Motic MLC-150 и оптического микроскопа Olympus Bx51.

Изучение состава и микроструктур строматолитов проведено на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром X-MAX фирмы OXFORD Instruments (напыление углеродное) в ИГ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар). Из строматолитов были вырезаны пластинки размером 1×1 см (поперечные срезы). Для получения более четкой картины микрострукту-

ры пластовых строматолитов некоторые образцы были протравлены слабым раствором соляной кислоты (10 %). Кроме обработанных поверхностей строматолитов для изучения были подготовлены свежие сколы образцов (продольные и поперечные).

Результаты и их обсуждение

Биостромы изучаемых пластовых строматолитов в естественных обнажениях четко выделяются благодаря своей тонкой слоистости и волнисто-бугорчатой поверхности напластования (рис. 1, б—г). Они образуют слои мощностью от 0.5 до 1.5 м, прослеживаются во время отлива вдоль побережья на расстоянии около 4 км.

В вертикальном сечении наблюдается субгоризонтальное или флексуорообразное унаследованное перегибание слоев. Иногда в постройке создается ряд бугорков, производящих впечатление сближенных между собой столбиков (рис. 1, в; рис. 2, б, д). Однако каждый строматолитовый слой проходит через все эти ложные столбики, не прерываясь. Волнисто-бугорчатые строматолитовые слои с поверхности наслоения образуют чередующиеся пологие мелкие бугорки длиной 10 см, шириной 2 см, высотой 1—1.5 см и впадины шириной 5—7 см.

Форма продольного сечения бугорков самая разнообразная: округлая, эллипсовидная, с-образная и т. п.

Сравнительный анализ пластовых строматолитов каруярвинской свиты с голотипом формы *Stratifera flexurata* Komar и с формой из умбельской свиты Прибайкальской зоны юга Восточной Сибири [2] позволил к. г.-м. н. С. А. Анисимовой (Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск) отнести изучаемую форму к виду *Stratifera aff. flexurata* Komar.

Микроструктура пластовых строматолитов определяется закономерным чередованием слоев двух типов: органогенных и терригенных (рис. 2, а—ж). *Органогенные слои* (от темно-серой до черной окраски) состоят из тонкозернистого доломита с незначительной примесью обломочного алевритового материала. Внутри органогенных слоев обнаружены следы былой микробиальной жизни в виде сгустковой (комковатой) структуры пелитоморфного доломита (рис. 2, з) и дихотомирующих нитей черной окраски (рис. 2, и). *Терригенные (светло-серые, розовато-серые) слои* представлены алевритовым полевошпат-кварцевым материалом с доломитовым тонкозернистым базальным цементом.

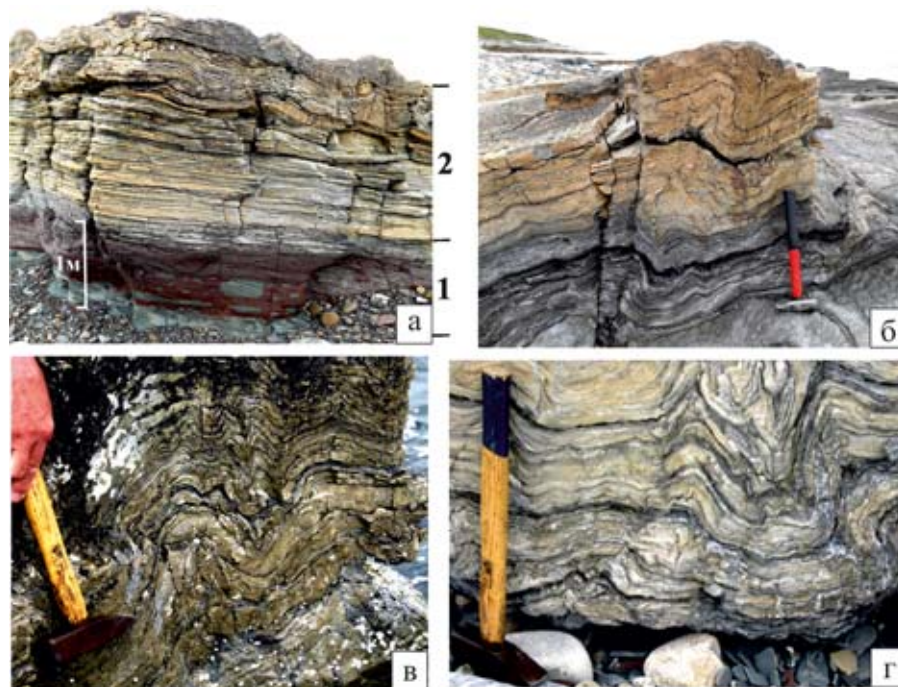


Рис. 1. Особенности строения каруярвинской свиты п-ова Средний: а — строение одного из ритмов каруярвинской свиты вдоль побережья губы Большая Волоковая: 1 — пестроцветные метаалевролиты, 2 — темно-серые доломиты с пластовыми строматолитами; б, в, г — биостромы пластовых строматолитов в разрезе.

Fig. 1. Composition features of the rhythms of Karuyarvinskaya formation along the coast of Bolshaya Volokovaya Bay. 1 — variegated metaaleurolites 2 — dark gray dolomites with stratiform stromatolites; б, в, г — biostromes of stratiform stromatolites in section.

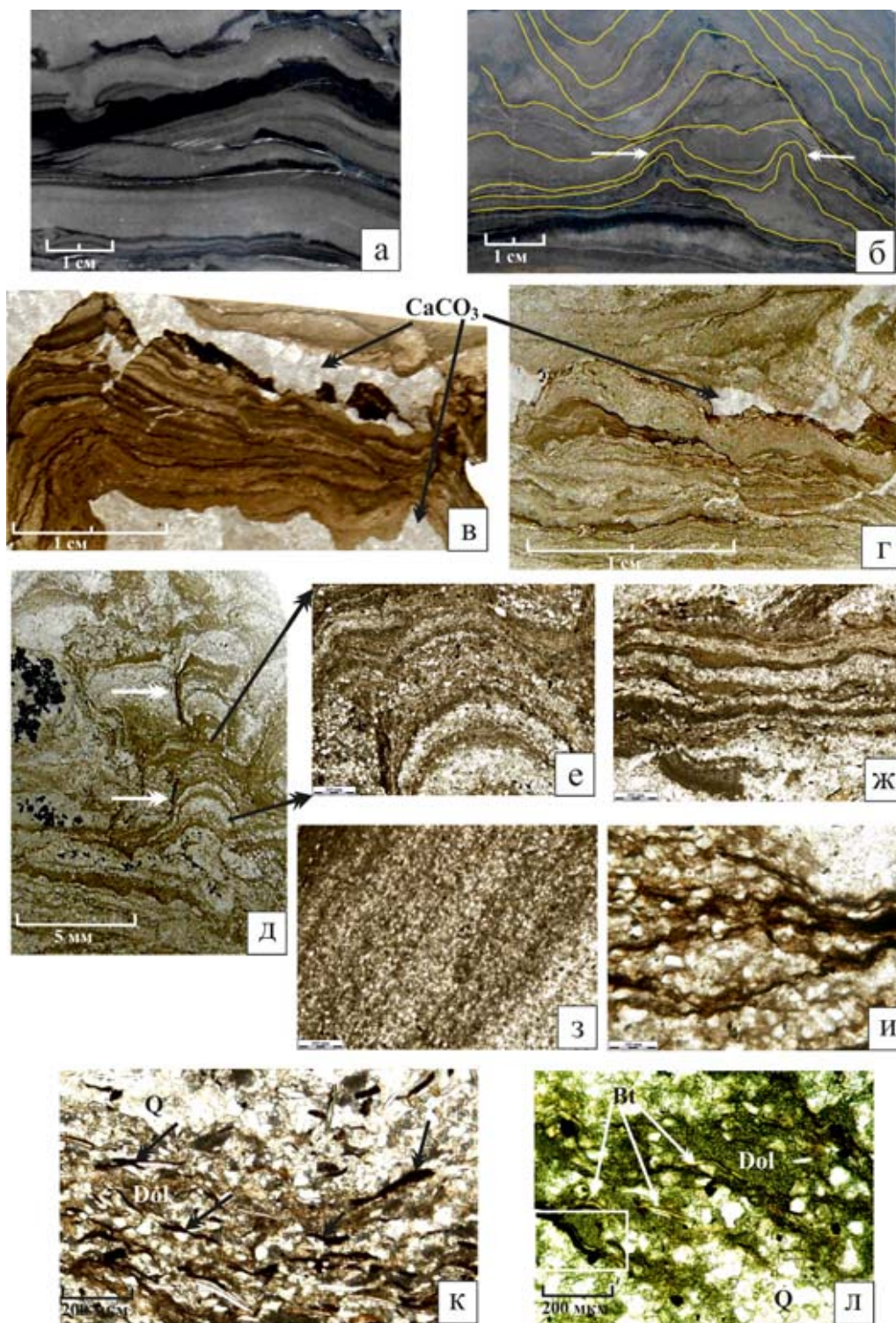


Рис. 2. Структуры пластовых строматолитов (поперечный разрез): а — чередование органогенных (темно-серых) и терригенных (светло-серых) слоев, штурф 508-1; б — ряд бугорков (показаны стрелками), создающих впечатление сближенных столбиков (слойки обведены маркером), аншлиф 5-В; в — флексуобразное изгибание слоев с линзочками белого кальцита, шлиф 77-5к; г — четкая слоистость, неправильно-волнистая, аншлиф 5-В; д, е — ряд бугорков, создающих впечатление микропильков, шлиф 166-3; ж — полого-волнистая слоистость, шлиф 77-5к; з — сгустковая микроструктура органогенных слоев, шлиф 77-4к; и — черные дихотомизирующие нити в строении органогенного слоя, шлиф 508-1; к — обрывки черных нитей в строении органогенных слоев, шлиф 77-5к; л — лейсты метаморфического биотита в составе органогенных слоев; прямоугольником обозначен участок, где биотит развивается по обрывкам черных нитей, шлиф 76-1. Масштабный отрезок для рисунков е—з 500 мкм, для рисунка ж — 100 мкм

Fig. 2. Structures of stratiform stromatolites (cross section): а — alternation of organogenic (dark gray) and terrigenous (light gray) strata, sample 508-1; б — line of plugs (arrows), creating impression of closely spaced columns (laminae circled), polished section 5-В; в — flexure-like bending layers with small lenses of white calcite, polished section 77-5к; г — clear stratification, irregularly wavy, polished section 5-В; д, е — series of plugs that create impression of micropillars, section 166-3; ж — flat wavy stratification, section 77-5к; з — lumpy microstructure of organogenic layers, section 77-4к; и — black dichotomizing threads in the structure of organogenic layer, thin section 508-1; к — scraps of black threads in the structure of organogenic layers, section 77-5к; л — metamorphic biotite composed of organogenic layers; rectangle designated area where biotite develops on the scraps of black threads, section 76-1. The scale interval for the figures е—з 500 microns, for figure ж — 100 microns.

Углеродистое вещество (УВ) в составе тёмно-серых органогенных слоев изучено методом спектрального комбинационного рассеивания (рамановская спектроскопия) [9]. Рамановские спектры УВ всех образцов строматолитов аналогичны спектрам разупорядоченного (аморфного) УВ [16, 17, 19]. Исходным, очевидно, было УВ сложного состава, что служит аргументом в пользу его биогенного происхождения [9].

Изучение пластовых строматолитов с помощью электронного сканирующего микроскопа позволило вы-

явить в строении органогенных и реже терригенных слоев лентовидные микрообразования сложного химического состава, отличимые от вмещающего доломитового субстрата (рис. 3, а, б; табл.). Их толщина изменяется от 1 до 5 мкм. Нестабильность состава связана, скорее всего, с разной степенью их сохранности и вторичными процессами преобразования (катагенез, метаморфизм). Внутри органогенного слоя они в большинстве случаев ориентированы согласно общей слоистости. Контуры их в поперечном срезе четкие, слабоизвили-

стые. Внутри этих лентовидных микрообразований в большинстве случаев наблюдаются многочисленные вкрапления кристаллов пирита (рис. 3, а, б). Такая приуроченность пирита, по нашему мнению, свидетельствует о генетической связи его с первичным органическим веществом, которое составляло основу лентовидных микрообразований.

При изучении продольных свежих сколов строматолитов были обнаружены тонкие пленочные микрообразования неправильных очертаний сложного состава (рис. 3, в—д; табл.).

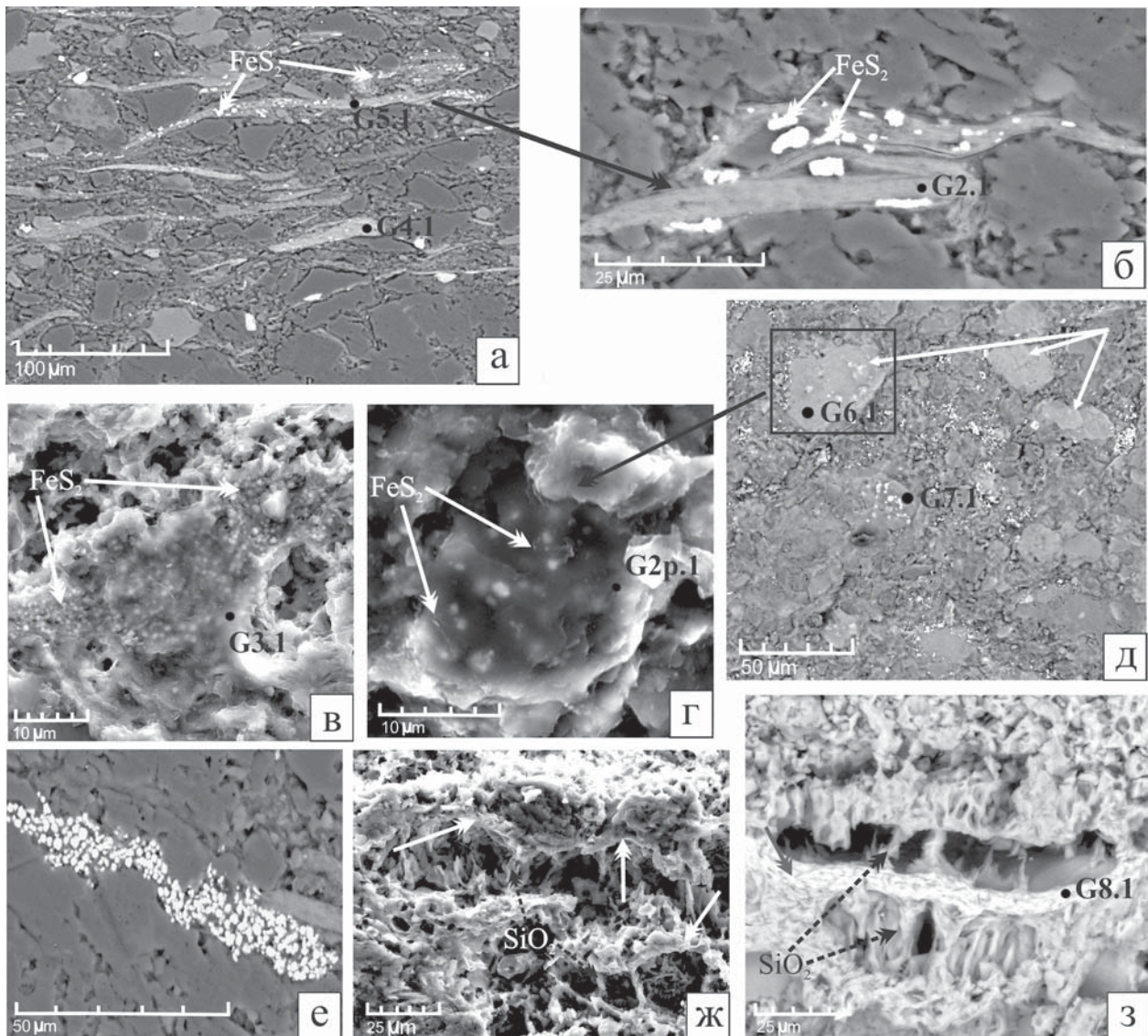


Рис. 3. Микроструктуры пластовых строматолитов каруярвинской свиты п-ова Средний: а, б — лентовидные микрообразования сложного состава с кристаллами пирита в строении органогенных доломитовых слоев (поперечный срез); в, г, д — пленочные микрообразования сложного состава с многочисленными кристаллами пирита (продольный срез); е — линзовидные микрообразования, выполненные пиритом; ж, з — участки после травления соляной кислотой (поперечный срез): 1) черные участки — пустотное пространство после выщелачивания кальцита; 2) тонкие лентовидные микрообразования (указаны стрелками); 3) халцедоновый каркас в виде тонких выростов и перегородок (указаны стрелками с пунктиром). На рисунке номерами показаны точки опробования, результаты см. в таблице

Fig. 3. Microstructures of stratiform stromatolites of Karuyarvinskaya formation of Sredny Peninsula: а, б — ribbon-like microunits with complex composition with crystals of pyrite in the structure of organogenic dolomite layers (cross section); в, г, д — film microunits with complex composition with numerous crystals of pyrite (longitudinal section); е — lenticular microunits filled by pyrite; ж, з — areas after etching with hydrochloric acid (cross section) 1) black areas — voids after leaching of calcite; 2) thin ribbon-like microunits (indicated by arrows); 3) chalcedony frame as fine protrusions and walls (indicated with dotted arrows). Numbers show points of sampling, see the results in table.

Содержание оксидов в лентовидных и пленочных микрообразованиях (%)
Oxides content in ribbon-like & foil-like microformations (%)

№ точки	лентовидные микрообразования					пленочные микрообразования		
	G 2.1	G 5.1	G 4.1	G 3.1	G 8.1	G 6.1	G 7.1	G 2p.1
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	0.33
MgO	15.99	26.17	15.94	26.47	8.48	8.28	21.51	11.89
Al ₂ O ₃	16.89	19.62	16.84	18.02	17.6	14.03	16.73	17.79
SiO ₂	29.19	32.83	36.09	35.02	35.79	29.57	35.92	32.57
K ₂ O	0.43	0.22	5.72	1.28	8.77	5.91	3.23	3.59
CaO	0.3	0.4	-	0.22	-	-	-	-
TiO ₂	-	-	1.43	0.7	3.08	2.52	1.11	2.1
FeO	22.36	14.93	15.35	11.56	19.33	14.51	11.74	15.09

Примечание. Номера точек соответствуют номерам на рисунке 3.

Note. Point numbers are according to figure 3.

Их размеры изменяются в среднем от 12×12 мкм до 60×40 мкм. И вновь к этим пленочкам приурочена обильная пиритовая минерализация, как и в случае с лентовидными микрообразованиями. Их составы очень схожи по содержанию основных оксидов (см. таблицу). Лентовидные микрообразования, которые были установлены при изучении поперечных срезов образцов, соответствуют срезам пленочных микрообразований.

В образце 508-1 (рис. 2, а) после травления его разбавленной соляной кислотой в поперечном срезе органо-генного слоя были обнаружены участки выщелачивания кальцита с остаточным кремнистым каркасом в виде шестоватых выростов и перегородок (рис. 3, ж, з), которые находятся в тесном срастании с лентовидными образованиями сложного состава (рис. 3, з, точка G 8.1). Они практически лишены пиритовой минерализации. Иногда можно наблюдать ярусное строение этих микрообразований: тонкое (4—6 мкм) лентовидное образование — кремнистый каркас — лентовидное образование — кремнистый каркас (рис. 3, ж). При изучении шлифов также были обнаружены червеобразные выделения длиной 0.2—0.3 мм, выполненные кальцит-халцедоновым материалом. Скорее всего, они имеют первичную биофильную структуру.

Наблюдаемые лентовидные образования переменного состава соответствуют поперечным срезам лейст биотита. Этот вывод подтверждает их химический состав (см. таблицу) и результаты изучения аншлифов и шлифов. При изучении продольных сколов строматолитов под бинокуля-

ром были обнаружены многочисленные лейсты биотита. В большинстве случаев они связаны с темно-серыми органо-генными слоями. В поперечном срезе они имеют вид тонких лентовидных образований. Просмотр ориентированных шлифов подтвердил, что лейсты метаморфического биотита действительно приурочены к органо-генным слоям. Они находятся в тесном срастании с переплетающимися черными нитями. В промежутках между нитями сосредоточены алевритовые зерна кварца и полевых шпатов. Нити обволакивают эти обломочные зерна, разветвляются и образуют ячеистую структуру. В шлифах можно наблюдать участки, где лейсты биотита развиваются непосредственно по обрывкам черных нитей (рис. 2, л). Кроме биотита в составе органо-генных слоев установлен мусковит, но в значительно меньшем количестве.

Всестороннее исследование карбонатных пород каруярвинской свиты (полевые наблюдения; микроскопические исследования образцов; изучение УВ в составе темных органо-генных слоев методом спектрального комбинационного рассеивания; заключение к. г.-м. н. С. А. Анисимовой) позволяет сделать вывод, что обнаруженные структуры отражают органо-минеральную природу исходного вещества. Оно, очевидно, было сложного алюмосиликатного состава, главными компонентами которого выступали Mg, Ca, Al, Si, K, Ti, Fe и C. В дальнейшем метаморфические и гипергенные преобразования способствовали изменению его состава, возникнове-

нию новых микроструктур, первичные признаки затухали, происходило слияние биогенного и абиогенного в единое целое.

Заключение

Изучая докембрийские строматолиты, мы имеем дело с карбонатными или терригенно-карбонатными образованиями, претерпевшими длительную и сложную историю вторичных изменений. Обнаружение в породах фоссилизированных организмов или следов их жизнедеятельности является важным критерием в пользу их биогенной природы [9].

Таким образом, микроскопическое изучение микроструктуры пластовых строматолитов п-ова Средний показало, что она обусловлена чередованием доломитовых органо-генных и алевритовых терригенных слоев. В органо-генных слоях обнаружены следы микробиальной жизни в виде ступенчатой структуры тонкозернистого доломита и черных переплетающихся (с ячеистой структурой) нитей. Очевидно, каждый из органо-генных слоев в прошлом представлял собой цианобактериальное сообщество, существование которого каждый раз приостанавливалось в связи с поступлением очередной порции терригенного материала. При этом некоторые цианобактерии вновь проникали между частицами осадка и продвигались в сторону света, то есть на поверхность терригенного слоя [7]. В итоге чередование органо-генных и терригенных слоев определило в целом микроструктуру изученных пластовых строматолитов. Особенности строения пластовых строматолитов (наличие флексуобразных перегибов слоев, кажущихся столбиков в вертикальном срезе) позволяют рассматривать их как *Stratifera aff. flexurata* Komar.

Литература

1. Беккер Ю. Р., Негруца В. З., Полевая Н. И. Возраст глауконитовых горизонтов и верхней границы гиперборея восточной части Балтийского щита // Докл. АН СССР. 1970. Т. 193. № 5. С. 1123—1126.
2. Дольник Т. А. Строматолиты и микрофитолиты в стратиграфии рифея и венда складчатого обрамления юга Сибирской платформы. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 2000. 320 с.
3. Гецен В. Г. Тектоника Тимана. Л.: Наука, 1988. 210 с.



4. Кочетков О. С., Иванов Н. Ф. О некоторых аспектах формационно-геоструктурного развития Варангер-Тиманского подвижного пояса байкалид // XV Геологический съезд Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2009. Т. 2. С. 124—127.
 5. Кочетков О. С., Михайленко Ю. В., Иванов Н. Ф. и др. Характеристика пластовых строматолитов *Stratifera flexurata* Kom. (каруярвинская свита полуострова Средний, северное побережье Кольского полуострова) // X Всероссийская (с международным участием) Ферсмановская научная сессия «Геология и стратегические полезные ископаемые Кольского региона», 2011. С. 85—88.
 6. Литвинова Т. В. Строматолитовые постройки как результат взаимодействия биоценоза и минералообразования // Минералогия и жизнь: происхождение биосферы и коэволюция минерального и биологического миров: Материалы IV Международного минералогического семинара, 2007. С. 55—57.
 7. Любцов В. В., Михайлова Н. С., Предовский А. А. Литостратиграфия и микрофоссилии позднего докембрия Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1989. 130 с.
 8. Люткевич Е. М., Харитонов Л. Я. Эокембрийские отложения полуостровов Рыбачьего, Среднего и о. Кильдина // Геология СССР. Т. 37. Мурманская область. Ч. 1. Геологическое описание. М.: ГОНТИ, 1958. С. 361—370.
 9. Медведев П. В., Войтеховский Ю. Л., Чаженина С. Ю. и др. О возрасте пластовых строматолитов кильдинской серии п-ова Средний // Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Уникальные геологические объекты Кольского п-ова: строматолиты п-ова Средний», 2014. С. 9—20.
 10. Михайленко Ю. В. О рифейских пластовых строматолитах каруярвинской свиты полуострова Средний (северное побережье Кольского полуострова) // Проблемы современной палинологии: Материалы XIII Российской палинологической конференции, 2011. Т. 1. С. 267—271.
 11. Негруца В. З., Басалаев А. А., Чикирев И. В. Баренцевоморский фосфоритовый бассейн. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 119 с.
 12. Оловянишников В. Г. Верхний докембрий Тимана и полуострова Каннин. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 191 с.
 13. Раабен М. Е. Верхний рифей как единица общей стратиграфической шкалы. М.: Наука, 1975. 247 с.
 14. Раабен М. Е. Строматолитовые формации рифея в обрамлении Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2007. Т. 15, № 1. С. 35—46.
 15. Сорохтин Н. О., Козлов Н. Е., Куликов Н. В. и др. Эволюция северо-западной части Тимано-Варангерского нефтегазоносного бассейна // Вестник КНЦ РАН. 2011. № 6. С. 3—20.
 16. Bower D. M. Micro Raman spectroscopic investigations of mineral assemblages in parallel to bedding laminae in 2.9 Ga sandstones of the Pongola Supergroup, S. Africa // J. Raman Spectrosc. 2011. V 42. P. 1626—1633.
 17. Marshall C. P., Edwards H. G. M., Jehlicka J. Understanding the application of Raman spectroscopy to the detection of traces of life // Astrobiology. 2010. V. 10. P. 229—243.
 18. Roberts D., Siedlecka A. Provenance and sediment routing of Neoproterozoic formations on the Varanger, Nordkinn, Rybachi and Sredni peninsulas, North Norway and Northwest Russia: a review // Norges geologiske undersokelse Bulletin. 2012. V. 452. P. 1—19.
 19. Schopf J. W., Kudryavtsev A. B., Agresti D. G. et al. Raman imagery: a new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permianized Precambrian fossils // Astrobiology. 2005. V 5. P. 333—371.
- ### References
1. Bekker Yu. R., Negrutsa V. Z., Polevaya N. I. *Vozrast glaukonitovykh gorizontov i verkhnei graniitsy giperboreya vostochnoi chasti Baltiiskogo schita* (Age of glauconite strata and upper boundary of hyperborean eastern part of Baltic Shield). Dokl. AN SSSR, 1970, V. 193, No. 5, pp. 1123—1126.
 2. Dol'nik T. A. *Stromatolity i mikrofitolity v stratigrafii rifeya i venda skladchatogo obramleniya yuga Sibirskoi platform* (Stromatolites and microphytolites of Riphean and Vendian folded boundary of Southern Siberian platform). Novosibirsk: IGIG SO AN SSSR, 2000, 320 pp.
 3. Getsen V. G. *Tektonika Timana* (Timan tectonics). Leningrad: Nauka, 1988, 210 pp.
 4. Kochetkov O. S., Ivanov N. F. *O nekotorykh aspektakh formatsionno-geostrukturnogo razvitiya Varanger-Timanskogo podvizhnogo poyasa baikalid* (Some aspects of formation-geostруктурного развития Varanger-Timan mobile belt of baikalides). Proceedings of 15th Geological conference of Komi Republic. Syktывkar: IG Komi NTs UrO RAN, 2009, V. 2, pp. 124—127.
 5. Kochetkov O. S., Mikhailenko Yu. V., Ivanov N. F. et al. *Kharakteristika plastovykh stromatolitov Stratifera flexurata Kom. (karuyarvinskaya svita poluostrova Srednii, severnoe poberezh'e Kol'skogo poluostrova)* (Characteristics of stratiform stromatolites *Stratifera flexurata* Kom. (karuyarvinskaya formation of Sredny peninsula, northern coast of Kola peninsula). 10th Russia Fersmanov conference Geology and strategic resources of Kola peninsula, 2011, pp. 85—88.
 6. Litvinova T. V. *Stromatolitovye postroyki kak rezul'tat vzaimodeistviya biotsenozha i mineraloobrazovaniya* (Stromatolite buildups as result of interaction of biocenosis and mineral formation). *Mineralogiya i zhizn': proishozhdenie biosfery i ko-evolyutsiya mineral'nogo i biologicheskogo mirov* (Mineralogy and life: origin of biosphere and coevolution of mineral and biologic worlds). Proceedings of 4th International mineralogical seminar, 2007, pp. 55—57.
 7. Lyubtsov V. V., Mikhailova N. S., Predovskii A. A. *Litostratigrafiya i mikro-fossilii pozdnego dokembriya Kol'skogo poluostrova* (Lithostratigraphy and microfossils of Late Precambrian of Kola peninsula). Apatity: Izd-vo KNTs RAN, 1989, 130 pp.
 8. Lyutkevich E. M., Kharitonov L. Ya. *Eokembriiskie otlozheniya poluostrovov Rybach'ego, Srednego i o. Kil'dina* (Aeocambrian sediments of Rybachy, Sredny peninsulas and Kyldin island). *Geologiya SSSR*. V.37, Murmansk region, Moscow: GONTI, 1958, pp. 361—370.
 9. Medvedev P. V., Voitehovskii Yu. L., Chazhengina S. Yu. et al. *O vozraste plastovykh stromatolitov kil'dinskoj serii p-ova Srednii* (Age of stratiform stromatolites of Kyldinskaya formation of Sredny peninsula). All-Russian Conference Unique geological objects of Kola peninsula: stromatolites of Sredny peninsula, 2014, pp. 9—20.
 10. Mikhailenko Yu. V. *O rifeiskikh plastovykh stromatolitah karuyarvinskoi svity poluostrova Srednii (severnoe poberezh'e Kol'skogo poluostrova)* (Riphean stratiform stromatolites of karuyarvinskaya formation of Sredny peninsula). Proceedings of 13th Russian palynological conference, 2011, V. 1, pp. 267—271.
 11. Negrutsa V. Z., Basalaev A. A., Chikirev I. V. *Barentsevomorskii fosforitovyy bassein* (Barentsevomorskii fosforitovyy bassein). Apatity: Izd-vo KNTs RAN, 1994, 119 s.



tovyi bassein (Barents-North Sea phosphotite basin). Apatity: Izd-vo KNTs RAN, 1994, 119 pp.

12. Olovyanishnikov V. G. *Verhnii dokembrii Timana i poluostrova Kanin* (Upper Cambrian Timan and Kanin peninsula). Ekaterinburg: UrO RAN, 1998, 191 pp.

13. Raaben M. E. *Verhnii rifei kak edinitsa obschei stratigraficheskoi shkaly* (Upper Riphean as unit of general stratigraphic scale). Moscow: Nauka, 1975, 247 pp.

14. Raaben M. E. *Stromatolitovye formatsii rifeya v obramlenii Vostochno-Evropeiskoi platformy* (Stromatolite formations of Riphean within East-European platform). Stratigraphy.

Geological correlation. 2007, V. 15, No. 1, pp. 35—46.

15. Sorokhtin N. O., Kozlov N. E., Kulikov N. V. et al. *Evolutsiya severo-zapadnoi chasti Timano-Varangerskogo neftegazonosnogo basseina* (Evolution of North-Western part of Timan-Varanger oil and gas basin). Vestnik KNTs RAN, 2011, No. 6, pp. 3—20.

16. Bower D. M. Micro Raman spectroscopic investigations of mineral assemblages in parallel to bedding laminae in 2.9 Ga sandstones of the Pongola Supergroup, S. Africa. J. Raman Spectrosc. 2011, V 42, pp. 1626—1633.

17. Marshall C. P., Edwards H. G. M., Jehlicka J. Understanding the application of Raman spectroscopy to the detection

of traces of life. Astrobiology. 2010, V. 10, pp. 229—243.

18. Roberts D., Siedlecka A. Provenance and sediment routing of Neoproterozoic formations on the Varanger, Nordkinn, Rybachi and Sredni peninsulas, North Norway and Northwest Russia: a review / Norges geologiske undersokelse Bulleti. 2012, V. 452, pp. 1—19.

19. Schopf J. W., Kudryavstev A. B., Agresti D. G. et al. Raman imagery: a new approach to assess the geochemical maturity and biogenicity of permineralized Precambrian fossils. Astrobiology, 2005, V. 5, pp. 333—371.

Рецензент

К. Г. - М. Н. П. В. Медведев



NEW TYPE OF ATOMIC SCALE NANOSTRUCTURES IN DIAMOND-LIKE AND OTHER CARBON SUBSTANCES



T. G. Shumilova¹, J. Mayer², C. Herwartz²

¹IG Komi SC UB RAS, Russia;
shumilova@geo.komisc.ru

²Central Facility for Electron Microscopy, RWTH Aachen University;
mayer@gfe.rwth-aachen.de

To the date a lot of data on atomic scale nanostructures (ASNS) of natural carbon substances were published. The development of a systematic description of nanostructured substances, both synthetic and natural, is of crucial importance for fundamental and applied science. Here we present a systematic categorization of carbon nanostructures and a find of a new type of mixed (intermediate) ASNS existing in addition to the known ordered and disordered nanostructures. The mixed ASNS in natural diamond-like carbon is characterized by the simultaneous presence (spatial overlapping) of ordered and disordered irregularly arranged regions with short-range structural order, but with long range alignment of their general crystallographic orientation. The experimentally verified new type of ASNS represents a new building principle not only for carbon substances, but for solid matter as a whole. The find can open a new possibility for materials development and for theoretical and experimental modeling of solid state matter evolution.

Keywords: *carbon, diamond, diamond-like carbon, nanostructures, high resolution transmission electron microscopy.*

НОВЫЙ ТИП НАНОСТРУКТУР АТОМАРНОГО РАЗРЕШЕНИЯ В АЛМАЗОПОДОБНЫХ И ДРУГИХ УГЛЕРОДНЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Т. Г. Шумилова¹, Е. Майер², К. Герварц²

¹ИГ Коми НЦ УрО РАН, Россия;

²Центр электронной микроскопии Ахенского университета

К настоящему времени уже опубликованы многочисленные данные о наноструктурах атомарного разрешения (НСАР) углеродных веществ. Развитие системного описания наноструктурированных веществ, включая синтетические и природные, имеет важное значение для фундаментальной и прикладной науки. В данной статье мы предлагаем классификацию углеродных наноструктур и описание нового смешанного (промежуточного) типа наноструктуры атомарного разрешения помимо известных упорядоченных и разупорядоченных наноструктур. Смешанные НСАР в природном алмазоподобном углероде характеризуются одновременным присутствием (совмещением в пространстве) упорядоченного и неупорядоченного строения с малой дальностью структурного порядка, но с сохраняющимся дальним характером кристаллографического направления упорядоченных областей. Экспериментально установленный новый тип наноструктур атомарного разрешения представляет новый принцип строения вещества не только для углеродных веществ, но и для твердых материалов в целом. Обнаружение нового типа НСАР дает возможность для развития материалов, для теоретического и экспериментального моделирования эволюции состояния твердого вещества.

Ключевые слова: *углерод, алмаз, алмазоподобный углерод наноструктуры, высокоразрешающая просвечивающая электронная микроскопия.*

Introduction

The study of materials and mineral substances at the nano-level has become one of the most relevant materials related research areas and has drawn great attention both in the fields of fundamental and applied science — possibly resulting in new nanotechnologies and nanomaterials. The investigation of carbon-based mineral substances at atomic resolution has just started [1, 2], while in the field of materials science, rather rich data have already been accumulated on carbon-based nanostructures [3—11 and many others]. Analyzing an abundant number of carbon-based nanostructures it is very important to understand the main principles of their formation. In this context, the development of a systematic description of synthetic and natural nanostructured substances is of great importance. Here we present: 1) a detailed study of natural diamond-like carbon, 2) the results of a systematic categorization of atomic scale nanostructures over a wide range of natural carbon substances, and 3) describe the finding of mixed nanostructure types that represent a new state of carbon-based materials.

Material and methods

For the detailed study of ASNS by high resolution transmission electron microscopy, we used native carbon from the Kudymkol microdiamond deposit (Kazakhstan) with abundant diamond and co-existing graphite mineralization. The diamonds in the deposit occur in metasomatically intensively altered crustal-derived metamorphic rocks of Precambrian age in Kokchetav Massif (Northern Kazakhstan), the geological and petrological features were described in detail by L. D. Lavrova with co-authors [12, 13], diamond mineralization is estimated to occur at 531 ± 9 Ma [14]. The

Kudymkol deposit is interesting due to anomalous typomorphic diamond peculiarities [15–20], the presence of diamond within all types of metasomatically altered rocks of the massif, and huge diamond concentrations (up to hundreds carats per ton). Altered gneisses constitute 89.6 % of diamond productivity with a total storage capacity of about 3 billion carats, according to industrial studies [12]. Contrasting hypotheses of diamond formation have been published and hotly discussed up to present [12—14, 17, 18, 20—25 and others]. Regardless of formation process, the deposit belongs to a special type with no direct relation to magmatic processes.

The investigations of carbon mineralization of the Kudymkol diamond deposit have been carried out on a high-resolution transmission electron microscope FEI TECNAI F20 equipped with an energy-dispersive X-ray spectrometer (EDX), an energy filter (GATAN imaging filter), a scanning transmission electron microscopy (STEM) unit, and a digital CCD-Camera. The operating voltage of the microscope was 200 kV. The samples for the study have generally been prepared by applying the powdered material onto a copper grid with a holey carbon film. For the following results, it is important to note that the analysis of the carbon particles was performed in regions which were lying above holes of the supporting carbon films. The experimental conditions were carefully chosen in such a way that radiation damage by the high energy electrons could be avoided.

As a first step, carbon particles for the analysis were chosen in the “bright field” mode (BF), at intermediate magnification, controlling chemical purity and the absence of overlapping parts with STEM and EDX. Subsequently, high resolution transmission electron microscopy (HRTEM) studies were performed

at mainly magnifications of 600,000—900,000 times, which allowed the recording of images of the crystal lattice at near atomic resolution. The analysis of carbon particles within TEM-specimens was carried out while monitoring their structural properties by means of electron diffraction, Fourier transformation of high resolution images, and also by monitoring the chemical composition with EDX, STEM, and in some cases electron energy loss spectroscopy (EELS). The selected areas for diffraction from a particle were about 500 nm in diameter. The spectroscopic data were collected from areas with diameters of about 100—200 nm.

Results

Among natural carbon phases, we have analyzed particles that optically looked like diamonds and graphite. However, according to preliminary X-ray data, they exhibit different levels of ordering from well crystallized up to almost X-ray amorphous (Shumilova, 1996), which had been even observed for particles possessing clear crystalline morphological elements. In order to gain more insight into structural details at the nano-level, we performed HRTEM studies and have observed numerous varieties of ASNS. In our analysis, we found very special types of structures that were completely different from the carbon materials known to date.

For the definition and description of ASNS we apply the morphological principle of spatial arrangement of structural elements — atoms and their agglomerates — for constructing different morphological crystalline order and noncrystalline arrangements at the atomic scale. In this way, we can compose the different nanoscale morphological elements identified in our studies.

The real crystals are characterized by a well developed atomic lattice (Fig. 1a),

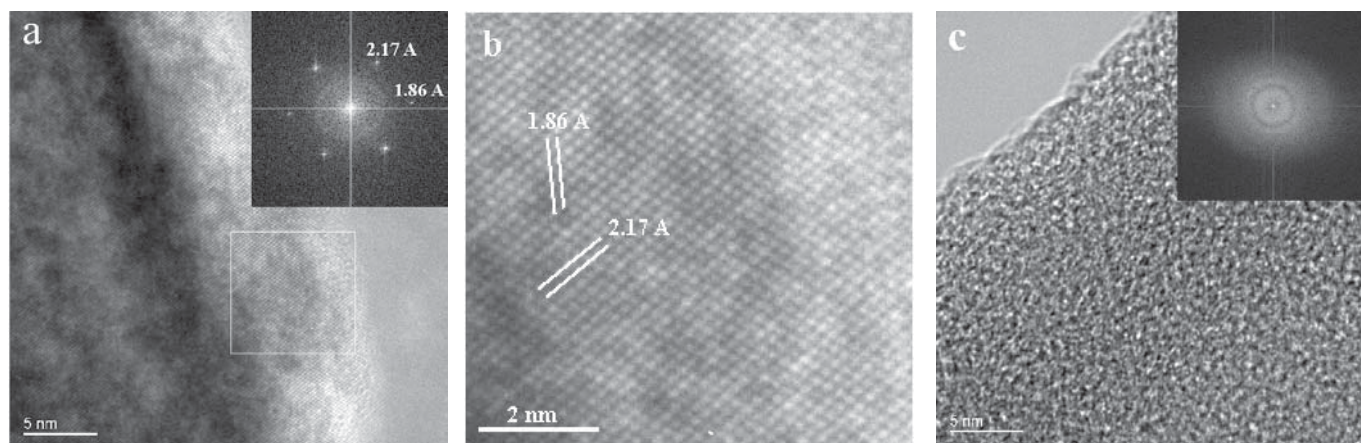


Fig. 1. HRTEM images of ASNS and corresponding Fast Fourier Transformation (FFT) patterns in the inserts (right top corners) with d-spacings of diamond in [110]: a — 3D-ordered crystal ASNS with diamond lattice; b — magnified diamond lattice from 1a image (selected square area); c — amorphous ASNS.

where atomic columns seen in projection are arranged on parallel lattice planes with translational symmetry. In contrast to crystalline ASNS, fully amorphous substances do not possess structural or chemical order even on the nanoscale (Fig. 1b). In addition to these two extreme structural types, amongst natural diamond-like and graphite-like particles, we found ASNS in which crystalline and amorphous aggregates were fully mixed on the atomic level (Fig. 2).

The depicted nanostructures exhibit lattice fringes with locally crystallographically well-defined translational symmetries characteristic of graphite or diamond, and with lattice plane spacings close to the typical interplanar distances of the corresponding crystalline phases. This observation is further supported by

the distinct reflections in the FFT patterns (Fig. 2 c, d) clearly demonstrating the crystalline nature of the phases. The chemical purity of the carbon patterns was supported by EDX data (Fig. 2b). Alignment of nano-crystallites along crystallographic directions was proved by electron diffraction patterns (Fig 2b, right corner inset, ED region is pointed by cycle).

The observed structures are distinctly different from just a multiphase mixture of nanocrystals and amorphous material. Although the typical dimensions of the ordered regions with irregular morphology are not larger than 1 nm, it can be recognized, either visually in the HRTEM images or by inspecting their FFT, that there exists a definite tendency of spatial alignment of the nanocrystals extending over the whole image area. If the volume fraction of the crystallites within a chosen area of a new structure (ASNS) becomes smaller, the extent of spatial ordering of the nanocrystals reduces and the FFT spots weaken. Unfortunately, we do not have information about the 3D distribution of crystalline and amorphous regions.

In Figure 3, three different variants of the ordered ASNS from the same sample are shown, which display a decreasing content of the crystalline phase and an increasing content of the amorphous

phase. In particular in the first two cases, the FFT clearly demonstrates a distinct mutual alignment of nano-crystallites along chosen crystallographic directions.

Similar observations have also been made in more structurally ordered variants, where the arrangement of the graphitic planes is non-planar (Fig. 4).

Discussion

According to the results of our present studies, we propose the existence of a new type of atomic scale nanostructures that is represented by an intermediate state of solid carbon, between ordered and disordered, and is thus constituted by a metastable mixture of both. Following these findings we present a new categorization scheme of ASNS of carbon substances, which is defined by the morphological principle of spatial composition of structural elements — atoms and their ordered arrangements forming nanoscale morphological elements (Table 1).

According to the classification offered by us, ASNS are subdivided into 3 groups which specify the general ordering principles: ordered, disordered and mixed ASNS. As specific characteristics of these three groups, we use the level of dimensionality of the inherent order, the prevailing general structural ordering

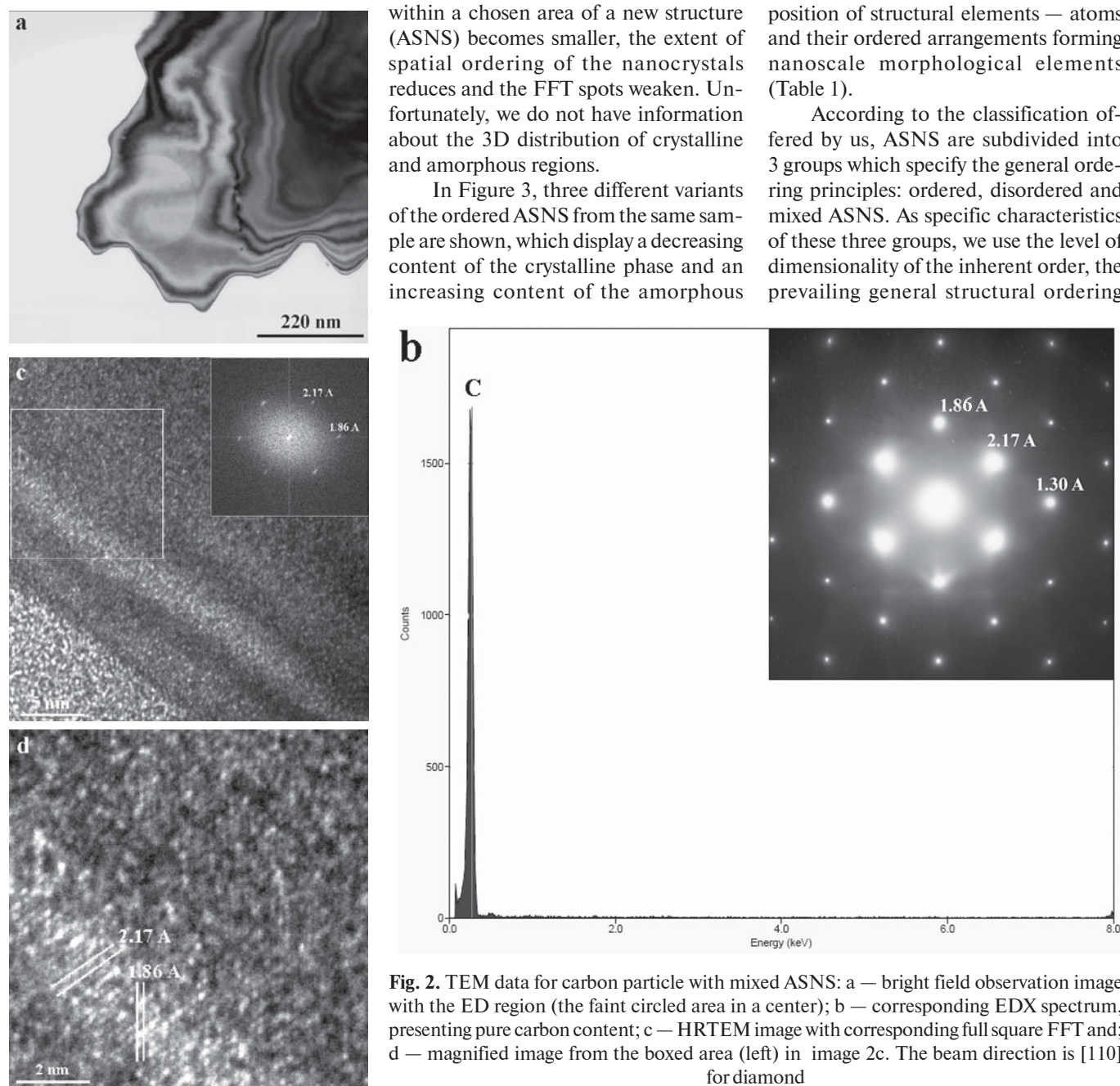


Fig. 2. TEM data for carbon particle with mixed ASNS: a — bright field observation image with the ED region (the faint circled area in a center); b — corresponding EDX spectrum, presenting pure carbon content; c — HRTEM image with corresponding full square FFT and; d — magnified image from the boxed area (left) in image 2c. The beam direction is [110] for diamond

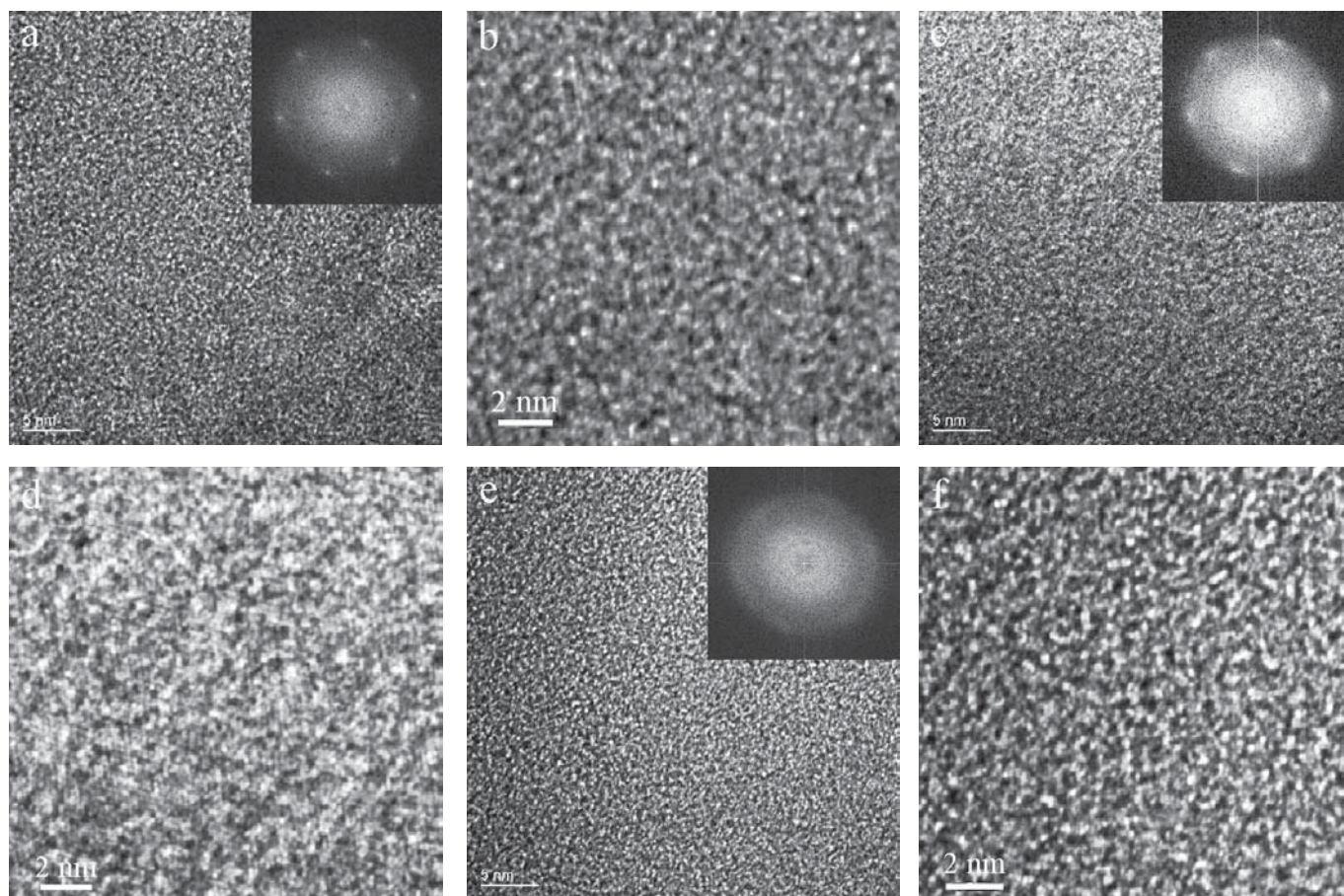


Fig. 3. HRTEM images at medium and high magnification and corresponding FFT of intermixed ASNS of the experimentally observed pseudo-diamond with d-spacing 1.26 Å (220) down the [111] direction: a, b — with predominating ordered structural elements; c, d — with equal ordered and amorphous elements; e, f — predominating amorphous structural elements

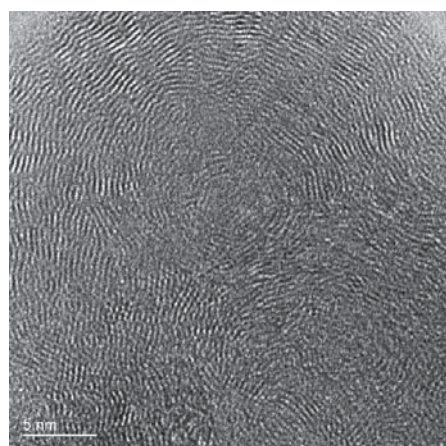


Fig. 4. HRTEM image of mixed ASNS of carbon with the non-planar arrangement of the graphitic planes

principle and the hybridization state of the carbon atoms. It should be noted that carbon atoms can not only have sp -, sp^2 -, and sp^3 -hybridization states, as widely accepted, but also intermediate states — sp^x , where $1 < x < 2$ and $2 < x < 3$ [26–28] (Table 2). For example, it was calculated for fullerenes that their hybridization state is $x=2.23$, and glass-like carbon is characterized by $x=1.66–1.83$ [28].

Ordered ASNS

The ordered ASNS type is characterized by two variants — 3D-ordered crystals and low-dimensional nanostructures. In HRTEM images, the ASNS are represented by well recognizable atomic fringes, forming a three-dimensional lat-

tice for the first variant and planar, linear and curved structural arrangements for the second variant, respectively. The ordered ASNS possess a mono-variant hybridization state of the carbon atoms. The carbon substances having the ASNS of the described type are listed in Table 2.

Disordered ASNS

The substances with disordered ASNS are comprised of irregular arrangements of carbon atoms. These ASNS are characterized by random positions of atoms and small clusters and correspondingly by the absence of sharp reflection spots in the FFT patterns. The structural composition principle of disordered ASNS can be described by the random

Classification of atomic scale nanostructures of carbon substances

Table 1

Type	Ordered		Mixed		Disordered
Level of dimensional order	3D-ordered crystals	Low-dimensional nanostructures	Amorphous with 3D-ordered elements	Amorphous with low-dimensional ordered elements	Amorphous
Structural ordering principle	Lattice (3D)	Planar (2D) Curved (2D) Linear (1D)	Pseudo-lattice	Pseudo-layer Pseudo-chain Pseudo-sphere	Cluster (0D)
Hybridization state	Monovariant		Mono+polyvariant		Polyvariant



Table 2

Carbon substances

Structural state	Carbon hybridization state				Admixture
	sp ³	sp ²	sp	sp ^x , x ≠ 1, 2, 3	
Ordered	Diamond	Hexagonal graphite	Chaoite	Fullerites	Peapods
		Rhombohedral graphite	α-carbyne		
		Cubic graphite	β-carbyne		
	Lonsdaleite	Graphene	<i>Linear-polyynes</i> *	Fullerenes	
		Nanotubes/nanofibers	<i>Linear-polycumulene</i>	Onions	
				Ultrathin nanotubes	
Mixed	Pseudo-diamond	Pseudo-graphite	<i>Pseudo-carbyne</i>	Soot-like carbon	Diamond-like carbon
					Graphite-like carbon
					Carbyne-like carbon
					Glassy-like carbon
Amorphous				Carbon glass	Amorphous carbon

*Theoretically probable phases which have not been discovered in natural or artificial materials are set in italics.

agglomeration of clusters without any mutual crystallographic coordination between them. In terms of the hybridization state, the substances with the disordered ASNS type have to be represented by poly-variant carbon atoms.

Mixed ASNS

The type of mixed (intermediate) ASNS reported by us in the present studies, is characterized by the simultaneous presence (overlapping) of both ordered and disordered structural motives which can be identified in the HRTEM images and their Fourier transformations. According to the level of dimensional order we divide the ASNS into two variants: amorphous with either three-dimensional or low-dimensional ordered elements (Table 1). The mixed ASNS type is represented by different systems of nanoscale regions with crystalline order which, at the same time, have long-range order with respect to their crystallographic orientation, as is evidenced by the presence of corresponding reflection spots in the FFT images. The nanoscale ordered regions are surrounded by disordered (amorphous) matter as a dense atomic-scale intercalation. The nanoscale order in this case consists of pseudo-lattice, -layer, -chain and -sphere arrangements of atoms, which are the general structural principles of the mixed ASNS variant (Table 1). At present, we use only a qualitative estimation of the prevalence of ordered or amorphous structural elements; however in future, the development of quantitative description criteria is also possible. As the pseudo-lattice connecting the crystallographic orientation of individual nanoscale regions with crystalline order is charac-

terized by distances corresponding well to highly ordered macroscopic substances, we propose to use the terms *pseudo-diamond*, *pseudo-graphite* and *pseudo-carbyne* (Table 2) to name substances with the mixed ASNS.

As can be demonstrated by the present experimental data, the definition of the mixed ASNS can be only made on the basis atomic scale characterization results, since other methods with lower spatial resolution, such as X-ray or electron diffraction, cannot identify the occurrence of structural ordering in a mixture of amorphous and nanocrystalline intercalated structural elements.

Conclusion

On the basis of a detailed study of natural carbon substances by HRTEM, a new type of atomic scale nanostructures — the mixed ASNS type has been established. It can be considered as a new structural ordering principle not only for carbon substances but also for any other similar type of solid matter. We suppose that the new ASNS type can have a fundamental value for nanoscience, as well as for theoretical and experimental modeling of solid matter based on the principles established in natural minerals.

Acknowledgments

The authors greatly thank A. Sologubenko and Th. E. Weirich for help in TEM study and A. A. Zayachkovsky for providing the mineral material from the Kumdykol diamond deposit, and the German Academic Exchange Service DAAD (project # 325), the UB RAS (the projects # 12-C-5-1035) for financial support.

References

1. Shumilova T. G., Akai J. Natural carbon nanophases. Syktyvkar: Geoprint, 2004. 20 p. (in Russian).
2. Kovalevski V. V., Buseck P. R., Cowley J. M. Comparison of carbon in shungite rocks to other natural carbons: An X-ray and TEM study // *Carbon*, 2001. # 39, 243—256.
3. Banhart Z. M. Radiation-Induced Transformation of Graphite to Diamond // *Phys. Rev. Lett.*, 1997. 79, # 19, 3680—3683.
4. Dresselhaus M. S. Future directions in carbon science // *Annu. Rev. Mater. Sci.*, 1997. 27, 1—34.
5. El-Barbary A. A., Trasobares S., Ewels C. P. Electron spectroscopy of carbon materials: experiment and theory // *Journal of Physics. Conference Series*, 2006. # 26, 149—152.
6. Harris P. J. F. New Perspectives on the Structure of Graphitic Carbons // *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 2005. # 30, 235—253.
7. Harris P. J. F., Burian A., Duber S. High-resolution electron microscopy of a microporous carbon // *Phil. Mag. Lett.*, 2000. # 80 (6), 381—386.
8. Liepack H., Bartsch K., Arnold B., Bauer H.-D., Liu X., Knupfer M., Leonhardt A. Characteristics of excess carbon in PACVD TiC-amorphous carbon layers // *Diamond and Related Materials*, 2004. # 13, 106—110.
9. Monthieux M., Smith B. W., Burteaux B., Claye A., Fischer J. E., Luzzi D. E. Sensitivity of single-wall carbon nanotubes to chemical processing: an electron microscopy investigation // *Carbon*, 2001. # 39, 1251—1272.
10. Roddatis V. V., Kuznetsov V. L., Butenko Yu. V., Su D. S., Schlögl R.



Transformation of diamond nanoparticles into carbon onions under electron irradiation // *Physical Chemistry*, 2002. # 4, 1964—1967.

11. Tendeloo G. V., Amelinckx S. Structural Studies on Superconducting Materials and Fullerites by Electron Microscopy // *Advanced Materials*, 1993. # 5(9), 620—629.

12. Lavrova L. D., Pechnikov V. A., Pleshakov A. M., Nadejdina E. D., Shukolukov Yu. A. A new genetic type of diamond deposits. Moscow: Nauchny Mir, 1999. 228 p. (in Russian).

13. Lavrova L. D., Karpenko S. F., Lyalikov A. V., Pechnikov V. A. Diamond formation in the age succession of geological events in the Kokchetav Massif: evidence from isotopic geochronology // *Geochemistry International*, 1997. # 35, 589—595.

14. Dobrzhinskaya L. F. Microdiamonds — Frontier of ultrahigh-pressure metamorphism: A review // *Gondwana Research*, 2012. # 21, 207—223.

15. Nadejdina E. D., Posukhova T. V. The morphology of diamond crystals from metamorphic rocks. *Mineralogicheskii Zhurnal*, 1990. # 12, 3—15.

16. Shumilova T. G. Mineralogy of skeletal diamonds from metamorphic rocks. Syktyvkar: Geoprint, 1996. 49 p. (in Russian).

17. Shumilova T. G. Mineralogy of native carbon. Ekaterinburg: UD RAS, 2003. 318 p. (in Russian).

18. Shumilova T. G., Mayer E., Isaenko S. I. Natural Monocrystalline Lonsdaleite // *Doklady Earth Sciences*, 2011. # 441 (1), 1552—1554.

19. Shumilova T. G., Masaitis V. L., Isaenko S. I., Mayer J., Kis V. K., Makeev B. A. Polygenesis and typomorphism of lonsdaleite. *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2012. # 2, 11—12 (in Russian).

20. Shumilova T., Mayer J., Isaenko S., Heidelmann M., Herwartz C., Wagner D. Lonsdaleite of a new genetic type and natural diaphite // Abstracts of the 1st European Mineralogical Conference, Germany, Frankfurt-Main, 2—7 September 2012, EMC2012-148.

21. Letnikov F. A. Formation of diamonds within deep-seated tectonic zones // *Doklady Akademii Nauk SSSR (Proceeding of USSR Academy of Sciences)*, 1983. # 371, 433—435 (in Russian).

22. Shatsky V. S., Sobolev N. V., Vavilov M. A. Diamond-bearing rocks of the Kokchetav massif / In: Coleman, R. G. Wang, X. (Eds.), *Ultrahigh Pressure Metamorphism*. Cambridge Academic Press, Cambridge, New York, Melbourne, 1995. P. 427—455.

23. Sobolev N. V., Shatsky V. S., Diamond inclusions in garnets from metamorphic rocks: a new environment of diamond formation // *Nature*, 1990. # 343, 742—746.

24. Sobolev N. V., Schertl H. P., Valley J. W., Page B. Z., Kita N. T., Spicuzza M. J., Neuser R. D., Logvinova A. M. Oxygen

isotope variations of garnets and clinopyroxenes in a layered diamondiferous calc-silicate rock from Kokchetav Massif, Kazakhstan: a window into the geochemical nature of deeply subducted UHPM rocks // *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2011. # 162, 1079—1092.

25. Korsakov A. V., Perraki M., Zedgenizov D. A., Dindi L., Vandenberghe P., Suzuki A., Kagi H. Diamond-graphite relationships in ultrahigh-pressure metamorphic rocks from the Kokchetav Massif, Northern Kazakhstan // *Journal of Petrology*, 2010. # 51, 763—783.

26. Brzhezinskaya M. M., Baitinger E. M., Kormilets V. I. Band Structure and CK6 emission of ultrathin nanotubes // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 2000. # 91(2), 393—398.

27. Kudryavtsev Yu. P., Evsyukov S., Guseva M. Carbyne — a linear chainlike carbon allotrope. Chemistry and Physics of carbon, Marchel Dekker, Inc., New York-Basel-Hong Kong, 1997. P. 2—70.

28. Vyatkin G. P., Baitinger E. M., Pesin L. A. Determination of character of hybridization of valence statement of carbon by spectroscopic methods. Chelyabinsk: CHGTU press, 1996. 104 p. (in Russian).

Рецензент

д. г.-м. н. С. В. Кривовичев



УДК 061.12:001.89(092) "192/193" Карпинский

РОЛЬ ПРЕЗИДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК СССР А. П. КАРПИНСКОГО В РАЗВИТИИ НАУЧНОГО ПОТЕНЦИАЛА СТРАНЫ В ПЕРВОЙ ТРЕТИ XX ВЕКА. ЧАСТЬ 2*



М. П. Рошчевский¹, Л. П. Рошчевская², А. А. Бровина²

¹Лаборатория сравнительной кардиологии; compcard@mail.ru

²Отдел «Научный архив и энциклопедия» Коми НЦ УрО РАН; lp@presidium.komisc.ru, brovina@presidium.komisc.ru

На основе архивных документов показана научно-организационная деятельность президента АН СССР академика А. П. Карпинского по подготовке, проведению и результатам работы Печорской бригады Полярной комиссии АН СССР. Творческий коллектив бригады, в которую входили специалисты разного профиля под руководством президента АН СССР А. П. Карпинского, впервые разработал проекты освоения Приполярной территории и неразрывно связал научные исследования с перспективным планированием экономики всей страны.

Ключевые слова: Академия наук СССР, Печорская бригада, А. П. Карпинский, приполярные регионы, Коми автономная область, перспективное планирование.

ROLE OF THE PRESIDENT OF THE USSR ACADEMY OF SCIENCES A. P. KARPINSKY IN THE COUNTRY SCIENTIFIC POTENTIAL DEVELOPMENT IN THE FIRST THIRD OF THE XX CENTURY. PART 2

M. P. Roshchinsky¹, L. P. Roshchenskaya², A. A. Brovina²

¹Laboratory of Comparative Cardiology,

²Scientific Archive and Encyclopedia Department, Komi Science Centre of the Ural Division, RAS

Scientific and organizing activity of the president of the USSR Academy of Sciences Academician A. P. Karpinsky in preparation, carrying out and results of work of the Pechora brigade of the USSR Academy of Sciences Polar Commission is revealed on the basis of the archive documents. The brigade creative group with specialists of different types under the leadership of the president A. P. Karpinsky for the first time elaborated projects of the Pre-Ural territory development and indissolubly united scientific investigations with long-term planning of the whole country economy.

Key words: USSR Academy of Sciences, Pechora brigade, A. P. Karpinsky, Pre-Ural regions, Komi Autonomous region, long-term planning.

Результаты работы Печорской бригады Полярной комиссии АН СССР

Для выработки обобщенных итогов привлекли специалистов Института геохимии, минералогии и кристаллографии им. М. В. Ломоносова, Геологического, Геоморфологического, Петрографического, Энергетического, Радиового, Гидрологического

институтов, Соляной лаборатории, Химической ассоциации, Комиссии по изучению вечной мерзлоты АН СССР, Государственного исследовательского нефтяного института — всего более 20 научно-исследовательских учреждений. Работа по составлению рабочей гипотезы народно-хозяйственного освоения Ухто-Печорского края на ближайшие 10—12 лет заняла

почти полтора года. Главным итогом стала коллективная монография, изданная на правах рукописи в 100 экз. под эгидой АН СССР, Совета по изучению природных ресурсов (СОПС) и Полярной комиссии, — «Рабочая гипотеза народно-хозяйственного освоения Ухто-Печорского края. Материалы к совещанию по Ухто-Печорской проблеме» (М., 1935).

* Окончание. Начало статьи — см. Вестник. 2015. № 4. С. 26—29.

В книге семь разделов, охватывающих физико-географические условия Ухто-Печорского края, современное состояние Печорского края, природные богатства (уголь, нефть, лес) и проблему их использования, проблемы транспорта, сельское хозяйство. Гипотеза предполагала развитие Печорского края до 1950 г.

Научно-исследовательскую работу в Ухто-Печорском крае связывали с потребностями индустриальной модернизации страны. Природные богатства анализировали в контексте добычи, транспортировки и использования. Анализ угольных месторождений позволил авторам провести расчеты по общим показателям запасов и выйти на цифру свыше 1 млрд т. Были произведены расчеты по промышленной эксплуатации углей и расширению их добычи в крупных масштабах. Перспективное планирование требовало серьезных расчетов по транспортировке углей до потребителя. Основной для этого являлась проблема снабжения топливом промышленности Московской, Ленинградской, центральных областей и Кольского полуострова.

Важными в промышленном значении были признаны учеными нефтяные месторождения в районе рек Чибью и Ярега. Расчеты добычи ухтинской нефти привели ученых к выводам, что, несмотря на высокую себестоимость, спрос на нефтепродукты усиливает гигантский рост авто-тракторного парка, флота и дизельных установок в промышленности.

Ученые предложили более десяти вариантов решения транспортной проблемы. Эти варианты объединили в четыре группы: выход из Воркуты к морю с дальнейшей транспортировкой на запад в Архангельск, Мурманск и Сороку (с перегрузкой на Ленинград через Беломоро-Балтийский путь); железнодорожный выход с Воркуты на материк; смешанные варианты речного пути с дальнейшим перегрузом на железную дорогу; сооружение Камо-Печорского водного соединения для выхода ресурсов Печоры на юг, Урал, Каму и Волгу. Составители понимали, что решение столь сложной для региона задачи займет длительное время и будет многоступенчатым.

По одной точке зрения, которую отстаивал академик О. Ю. Шмидт, предполагалось использовать в качестве водных путей малые реки, впадающие в океан, но это был тупиковый

вариант. Другой транспортный проект был ориентирован на поворот стока северных рек. Третья идея заключалась в строительстве железной дороги от Воркуты до Ухты, затем до Сыктывкара.

Намеченное развертывание новой промышленности требовало пространной подготовки и расширения научно-исследовательских и изыскательских работ. Проект включал широкие геолого-разведочные работы на уголь и нефть, предполагались реконструкция рек Усы и Печоры или изыскания вдоль железнодорожной трассы Воркута — Югорский Шар. Необходимо было рассчитать возможности получения дешевой электроэнергии на проектируемой Адакской плотине. Широкий размах научно-исследовательских работ требовал, по мысли составителей, организации постоянных станций АН СССР в Ухто-Печорском крае.

Обсуждение гипотезы развития Севера в 1935 г.

Обсуждение проблем перспективного освоения природных ресурсов и производительных сил Ухто-Печорского края, районов Югорского Шара и Полярного Урала состоялось в феврале 1935 г. в Москве под председательством А. П. Карпинского.

Выступавшие приветствовали «инициатора, организатора и руководителя работы». Действительно, огромная работа под руководством академика А. П. Карпинского в 1933 г. определила экономическое развитие Печорского края более чем на половину века [3].

За два дня было заслушано более 30 ученых и хозяйственных руководителей. Выделили обширные выступления А. А. Чернова и председателя Коми облисполкома И. Г. Коюшева, экономиста Гипроводтранса Л. П. Михельсона. Дважды выступали химик И. И. Гинзбург и А. А. Чернов. Некоторые из участников совещания уже после Великой Отечественной войны стали руководителями крупнейших народно-хозяйственныхстроек, в том числе каскада гидроэлектростанций на Волге.

Не все противоречия удалось ликвидировать в 1935 г. Однако эти научные споры, безусловно, оказали значительное влияние на последующее развитие российской науки и практики. Многие формулировки уточняли, но в целом гипотеза не вызвала категорического отпора. Наоборот, основные ее положения были поддержаны, что доказывает высокий научный уровень представленного к обсуждению документа. Недаром



Фото 2. Воркута. Члены бригады при входе в шахту № 1 имени АН СССР. Дата съемки: 20 августа 1933 г. Автор съемки: М. Б. Едемский. НА Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 1. Д. 19 «а». Л. 1.

Photo 2. Vorkuta. Member of the brigade at the entrance to Mine No. 1 named after the USSR Academy of sciences. Date: 20th August, 1933. Author: M. B. Edemsky. Archives of Komi SC UB RAS. F. 1. In. 1. F. 19 a. Sh. 1



один из выступавших подчеркнул: «Редко приходится видеть такое сочетание научной работы с немедленной наметкой хозяйственных перспектив».

Среди выступавших было несколько членов Печорской бригады. Они составляли одну группу. Во вторую группу входили геологи и гидрологи. Но самую сильную группу составили транспортники — сторонники развития Северного морского пароходства, строительства новых железных дорог на Севере. В сущности, основной спор шел о том, каким видом транспорта решать проблемы экспорта полезных ископаемых из региона — водным или сухопутным (железнодорожным). Можно утверждать, что на совещании впервые открыто обсуждали идею переброски северных рек. К 1930-м гг. экономисты уже поняли, что межрайонные связи между северными регионами имели тенденцию не в направлении восток — запад, а в направлении север — юг. Подчеркивали, что в регионе налажено уникальное производство радия.

Совещание сформировало общее направление развития региона на длительную перспективу, прежде всего на сырьевое использование невозобновляемых природных ресурсов угля, нефти и радия. Повторим: фактически на совещании вышли далеко за временные рамки 2-й пятилетки и рассматривали реальные задачи до середины 1950-х гг.

Совещание 1935 г. показывает выдающееся предвидение ученых и хозяйственных руководителей страны, которые составляли долгосрочную программу развития страны. Особенно велика роль президента АН СССР А. П. Карпинского в определении северных приоритетов Советского Союза в XX в.

Составители гипотезы надеялись, что будут учтены предложения и внесены изменения во второй пятилетний план. Однако при всей глобальности обсуждаемых задач реального воплощения в жизнь в то время они не могли получить.

Страна уже вплотную работала над выполнением второго пятилетнего плана. Внести коррективы и исправления в контрольные цифры развития народного хозяйства оказалось невозможным. В стране не имелось достаточных средств, чтобы расширить освоение Печорского угольно-нефтяного района. Проекты

транспортного развития и строительства железных дорог и водного сообщения были еще достаточно «сырыми». На местах не хватало рабочих рук, а добровольная миграция почти полностью исключалась. Оставались рычаги насильственного переселения через систему ГУЛАГа. Количество исправительно-трудовых лагерей и спецпоселений в Коми области в это время возрастает в разы. Но подневольный труд десятков тысяч репрессированных был крайне непроизводителен.

Научно-организационная деятельность А. П. Карпинского в ходе и после поездки доказывает, что, несмотря на весьма почтенный возраст, он с удивительной энергией и настойчивостью осуществил попытку сподвигнуть АН СССР на решение очень крупной общегосударственной задачи. Он прекрасно понимал, что огромные возможности Печорского края реально не используются в экономике страны, потому что ни ухтинская нефть, ни воркутинские и интинские угли, ни лесные богатства, ни развитие химической промышленности при добыче радия в Печорском бассейне не могут быть использованы, если нет путей сообщения для их транспортировки.

Для академика А. П. Карпинского работа во благо России была, безус-

ловно, приоритетна даже в этих тяжелых условиях. А. П. Карпинский был истинным созидателем. В очень непростой обстановке тех лет он искал пути возрождения и развития науки на благо страны. В этом величие работы ученого.

При советской власти он сохранил позиции лидера геологической науки, руководителя Академии наук. Авторитетнейший ученый с мировым именем, умудренный пожилой человек, А. П. Карпинский анализировал изменения, происходящие в стране после 1917 г., и понимал угрозы, нависшие над Академией. Сразу после Октябрьской революции А. П. Карпинский враждебно отнесся к новой власти, но очень скоро встал на путь сотрудничества и придерживался этой позиции до последних дней своей жизни.

В условиях коренной ломки экономики страны стали использовать принципы принудительного социализма с применением подневольного труда. Трагические реалии той жизни в условиях ГУЛАГа вынуждали идти на сотрудничество с этим гигантским управлением. И Карпинский пошел на этот шаг.

После совещания СОПС и Полярная комиссия Академии наук выбрали специальную делегацию к председателю Совета народных ко-



Фото 3. Члены Печорской бригады и женский трудколлектив имени АН СССР у буровой вышки № 16 в Еджыд-Кырта. Дата съемки: 31 июля 1933 г. Автор съемки: М. Б. Едемский. Санкт-Петербургский филиал Архива РАН. Ф. 75. Он. 5. Д. 20. Л. 70.

Photo 3. Members of the Pechora brigade and ladies' staff named after the USSR Academy of sciences at borehole No. 16 in Edzhid-Kyrta. Date: 31st July, 1933. Author: M. B. Edemsky. Saint-Petersburg branch of RAS Archives. F. 75. In. 5. F. 20. Sh. 70

миссаров СССР В. М. Молотову для выдвижения конкретных вопросов, связанных с освоением «природных богатств края и с дальнейшим развертыванием научно-экспедиционных исследований Академии наук». В соответствии с рекомендациями совещания 11 марта 1935 г. А. П. Карпинский обратился к В. М. Молотову с докладной запиской, в которой подчеркнул, что задачами Печорской бригады были «консультация на местах по ряду вопросов, связь с местными органами власти и разработка плана научно-исследовательских работ, связанных с хозяйственным освоением края» [2].

Масштаб поставленных задач, объем выполненных работ по определению размеров и границ минерально-сырьевого потенциала страны, аргументированные промышленно-экономические прогнозы — все это позволяет охарактеризовать Печорскую бригаду как новую форму организации научного сообщества, как уникальное временное, мобильное, творческое научное сообщество специалистов из различных академических и отраслевых организаций страны. Исследование Печорского края было проведено коллективом научных работников высочайшей эрудиции и смелости. Выполненные Печорской бригадой АН СССР разработки стали основой прогнозов, реализация которых способствовала открытию новых нефтяных и угольных провинций и районов и во многом содействовала созданию мощного минерально-сырьевого потенциала страны. Это был громадный вклад ученых в разработку проблем обеспечения страны ресурсами полезных ископаемых.

В одном из решений Печорской бригады АН СССР сделан такой вывод: «... эти работы являются первыми работами в подобной обстановке,

производимыми в СССР, в силу чего они будут иметь несомненное методологическое значение. Результаты же их могут быть полезны не только для дела освоения данного района, но и других горно-промышленных районов Севера, находящихся в сходной физико-географической обстановке» [1]. Слова эти смело можно и нужно отнести к результатам деятельности самой Печорской бригады и роли академика А. П. Карпинского.

Опыт работы Печорской бригады был с успехом использован впоследствии и при решении проблем Урала, Сибири и Дальнего Востока. То, что сделал А. П. Карпинский и организованная им Печорская бригада, выходит далеко за рамки регионального уровня. Это был одновременно и поворот Академии наук к развитию науки не в столицах, а на территории страны; без подобного реформирования Академии наук вряд ли в последующие годы удалось добиться такого взлета науки в нашей стране. В этом и есть главная заслуга, главное достижение президента Академии наук СССР академика А. П. Карпинского.

Важнейшим результатом деятельности А. П. Карпинского и бригады стало формирование долгосрочных перспективных проектов развития северного региона страны. Был уточнен план непосредственного участия АН СССР в изучении Печорского края. На основе установленного контакта с местными организациями удалось построить этот план таким образом, что работы Академии наук вошли органической частью в комплекс исследований, осуществляемых целым рядом организаций. Анализ этих проектов, напрямую связанных не столько с поисками и освоением энергетических ресурсов громадного масштаба, сколько с проблемами развития транспортной сети на европей-

ской части страны, приобретает общегосударственное значение, являясь одной из составляющих исследования Приарктической зоны. Кроме такой необычной формы работы над проблемой, как Печорская бригада, А. П. Карпинский предложил принципиальный поворот к исследованию экономического развития Севера, что предопределило вектор развития страны на столетие вперед и сохраняется до настоящего времени.

Прогнозы ученых во главе с А. П. Карпинским стали реальностью и имеют тенденцию к более широкой и всеобъемлющей реализации.

Литература

1. Государственный архив Архангельской области. Ф. 5931. Оп. 1. Д. 15. Л. 7—9.
2. Научный Архив Коми НЦ УрО РАН. Ф. 1. Оп. 1. Д. 19а. Ч. 4. Л. 2—4.
3. Рощевский М. П. Стратегия комплексного изучения, освоения и эффективного использования энергетических и минерально-сырьевых ресурсов Европейского Севера России // Избранные труды. Сыктывкар, 2013. Т. 1. С. 599.

References

1. Gosudarstvennyi arhiv Arhangel'skoi oblasti (State Archives of Arkhangelsk region). F. 5931. Op. 1. D. 15. L. 7-9.
2. Nauchnyi Arhiv Komi NTs UrO RAN (Science Archives of Komi Science Center UB RAS). F. 1. Op. 1. D. 19a. Ch. 4. L. 2-4.
3. Roshevskii M. P. *Strategiya kompleksnogo izucheniya, osvoeniya i effektivnogo ispol'zovaniya energeticheskikh i mineral'no-syr'evykh resursov Evropeiskogo severa Rossii* (Strategy of complex research, development and efficient application of energy and mineral resources of Russian European North). Syktyvkar, 2013, V. 1, pp. 599.



Хроника, события, факты • Chronicle, events, facts

В ЗЕРКАЛЕ ПРЕССЫ

В праздничные дни 70-летия со дня Великой Победы над фашистской Германией определен вклад в победу геологических организаций Коми АССР, обеспечивших страну минеральным сырьем для оборонной промышленности. В майские дни (20 и 22 мая) в Сыктывкаре открыли мемориальные доски академику Н. П. Юшкину и первому ректору Сыктывкарского университета В. А. Витязевой. Почетные граждане города, они стали символами своей эпохи и прославили республику. Определен современный вклад минерально-сырьевой базы РК в потенциал России (добыча угля до 15 млн т в год; добыча бокситов — около 3 млн т в год; добыча нефти — 3 % от общей добычи в стране; добыча жильного кварца). Коми отделение РГО начало разработку проекта «Комплексная Печорская экспедиция — Печорский меридиан». Сенсационная находка Павла Безносова — фрагмент лапы самого северного ихтиозавра в мире. Премия имени академика Л. Д. Шевякова вручена д. г.-м. н. Я. Э. Юдовичу и к. г.-м. н. М. П. Кетрис за монографию «Геохимия марганца». На лыжных гонках научных организаций — Академиаде-2015 — второе место в эстафете заняла сборная команда Коми НЦ (Сыктывкар).

MEDIA MIRROR

During holidays dedicated to the 70th anniversary of the Great Victory over Nazi Germany the contribution of geological organizations of Komi ASSR to the victory, that provided the country with mineral raw for the defense industry, was emphasized. In May days (May, 20th and 22nd) in Syktyvkar the commemorative plaques to Academician N. P. Yushkin and the first rector of the Syktyvkar University V. A. Vityazeva were unveiled. They, being honorary citizens of the city, both have become symbols of their era and glorified the Republic. The contribution to modern mineral resource base of Komi Republic to the potential of Russia was presented (coal production up to 15 million tons per year; bauxite — about 3 million tons per year, oil production — 3 % of the total production in the country, production of vein quartz). Komi branch of the Russian Geographical Society started the development of the project "Complex Pechora Expedition — Pechora meridian." Pavel Beznosov's sensational discovery — a fragment of fin of the most northern ichthyosaur in the world. Prize named after Academician L.D. Shevyakov was awarded to DSc Ya. E. Yudovich and PhD M.P. Ketris for the monograph "Geochemistry of Manganese". At the ski race of scientific organizations — Academiada 2015 — the picked team of Komi SC (Syktyvkar) took the second place.

9 мая вся наша страна отметила всенародный праздник — 70-летие со дня Великой Победы над фашистской Германией. Значительный вклад в победу внесли геологи РК, сумевшие обеспечить страну необходимым минеральным сырьем для оборонной промышленности. Определяющую роль в этом сыграли геологические организации Коми АССР. Ведущим

геологическим научным центром в Тимано-Североуральском регионе явился Институт геологии Коми филиала АН СССР, в тот период являвшийся сектором геологии Базы АН СССР в Сыктывкаре.

Во время Великой Отечественной войны геологи Коми АССР продолжали вести важную для страны работу. Итогами их деятельности ста-

ли значительный прирост запасов угля (осажденный Ленинград снабжался углем Воркуты), разведка сидеритовых месторождений, выявление марганцевых и хромитовых руд на Печоре и Урале, большая работа по разведке нефтяных структур, новые выходы глауконитовых песков, кварцитов, стекольных песков, тугоплавких глин, серы, дополнительные све-

Хроника мая

11 мая — юбилей Веры Васильевны Вытегоровой, инженера лаборатории геологии нефтегазоносных бассейнов

19 мая состоялась успешная защита диссертации Ивана Сергеевича Котика «Новейшая тектоника и прогноз локальных структур юга Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции», представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.12 «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений»

20 мая — открытие на здании института мемориальной доски выдающемуся ученому-геологу, директору Института геологии (1985—2008) академику Николаю Павловичу Юшкину

May chronicle

May 11 — the anniversary of Vera Vasilyevna Vytegorova, engineer of Oil-Gas Basins Laboratory

May 19 — a successful defense of Ivan Sergeyevich Kotik's thesis "The newest tectonics and forecast of local structures of Southern Timan-Pechora oil and gas province", presented for the degree of candidate of geological-mineralogical sciences, specialty 25.00.12 "Geology, prospecting and exploration of oil and gas fields"

May 20 — unveiling of the commemorative plaque to the outstanding scientist and geologist, director of the Institute of Geology (1985—2008) Academician Yushkin Nikolay Pavlovich



дения о проявлениях цветных металлов.

Институт геологии свято хранит память о своих сотрудниках, которые пришли в науку с фронтов Великой Отечественной войны и внесли свой вклад в дальнейшее развитие геологической науки нашего региона. Это: Гуслицер Борис Исаакович (1922—1989), Есев Василий Иванович (1922—1994), Калинин Павел Дмитриевич (1905—1983), Охотников Виталий Николаевич (1921—1997), Павлов Лев Петрович (1924—2001), Фишман Марк Вениаминович (1919—2003), Янулов Кирилл Паскальевич (1920—2004) (Регион. 2015. № 3).

20 мая в Сыктывкаре на здании Института геологии Коми НЦ открыли мемориальную доску академику Н. П. Юшкину, а 22 мая на здании главного корпуса СГУ им. П. Сорокина — первому ректору СыктГУ В. А. Витязевой. Почетные граждане Сыктывкара, они стали символами своей эпохи и прославили республику (Республика. 2015. 23 мая).

5 апреля, в День геолога, заместитель руководителя Департамента по недропользованию по Северо-Западному федеральному округу к. г.-м. н. Б. Тарбаев (сотрудник ИГ в недавнем прошлом) дал развернутое интервью о заметной роли минерально-сырьевой базы РК в потенциале РФ. Тимано-Печорская провинция занимает по запасам нефти четвертое место в России. По добыче нефти РК занимает 10 место среди регионов России, что составляет около 3 % от общей добычи в стране. Запасы каменного угля в Печорском бассейне составляют 7 млрд т или 3,7 % от общероссийских. Рассчитано увеличение объема добычи до 13—15 млн т в год. В Тиманской бокситоносной провинции на территории РК находится 26 % от общероссийских запасов бокситов и около 60 % от общих ресурсов. Современная добыча бокситов составляет около 3 млн т в год. Перспективна разработка титановых руд на базе Ярегского месторождения и Умбинско-Пижемской площади Среднего Тимана. В РК работают предприятия по добыче жильного кварца, имеются предпосылки для освоения рудного и россыпного золота, марганцевых и хромовых руд, баритов и других видов полезных ископаемых (Регион. 2015. № 3).

Изучить нынешнее состояние одной из важнейших речных магист-

ралей РК, а также жизнь припечорских населенных пунктов — такую задачу поставили перед собой авторы проекта «Комплексная Печорская экспедиция — Печорский меридиан». Заместитель председателя Коми отделения РГО Петр Юхтанов отметил, что в этом году получены грантовые средства от Русского географического общества в размере 1,5 млн рублей для реализации этого проекта. Планируется за 2,5 летних месяца на лодках пройти по Печоре от истока до устья 1810 км. Конечный результат, на который нацелены участники экспедиции «Печорский меридиан» — это издание монографии-справочника по Припечорью, который будет содержать все аспекты — и природный, и социологический, и экономический (Республика. 2015. 11 апреля).

В конце юрского периода практически вся территория РК была огромным теплым мелководным бассейном. В его водах плавали ихтиозавры, плезиозавры и др. виды морских животных. Находки их окаменевших останков можно назвать научными сенсациями. Одна из последних — находка фрагмента лапы самого северного ихтиозавра в мире. Автор находки — научный сотрудник лаборатории палеонтологии Института геологии Павел Безносков. Летом 2013 г. на берегу реки Волонги (Ненецкий АО) ученый обнаружил окаменевшую кость ихтиозавра. Специалисты из Москвы и Саратова опознали в находке ласт «глазастого ящера» — офтальмозавра. Эта разновидность ихтиозавров была широко распространена в юрских морях. Однако на территории нашей страны это первая достоверная находка. Помимо этого, офтальмозавр с Волонги оказался самым северным в мире. Сейчас его останки заняли почетное место в экспозиции музея Института геологии.

В настоящее время на территории РК отмечены четыре места нахождения останков рыбащеров: 1) р. Пижма, 1912 г., автор находки профессор А. Рябинин; 2) р. Айюва, 1963 г., автор находки Кирилл Седых; 3) р. Ижма, 1943—1944 гг., автор находки академик В. Меннер; 4) р. Сысола, 2013 г., автор находки Павел Безносков (Республика. 2015. 16 апреля).

Радует возросший научный авторитет бывшего сотрудника института

д. г.-м. н. Николая Александровича Малышева, который вошел в состав членов редакционной коллегии журнала «Московское общество испытателей природы» (учредители: МГУ и Московское общество испытателей природы). В настоящее время Н. А. Малышев — профессор кафедры региональной геологии и истории Земли геолфака МГУ, главный геолог Корпоративного научно-технического центра ОАО «Роснефть» (Бюллетень МОИП, отдел геологический. 2013. Т. 8. Вып. 4).

По итогам конкурса 2014 г. на соискание премии имени выдающихся ученых Урала премию имени академика Л. Д. Шевякова получил авторский коллектив: д. г.-м. н. Яков Эльевич Юдович и к. г.-м. н. Марина Петровна Кетрис (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН) за монографию «Геохимия марганца» (Наука Урала. 2015. № 5, март).

В апреле в Сыктывкаре проходила Всероссийская акция «Тотальный диктант» на знание русского языка. В мероприятии принял участие 441 человек. Результат таков: только две участницы получили оценку «отлично», еще полсотни человек получили «четверки», остальные — «тройки» и «двойки». Одна из написавших на «отлично» — это Оксана Габова, выпускница филфака СыктГУ, которая сейчас работает в издательско-информационном отделе Института геологии Коми НЦ и является редактором «Вестника» (Республика, 2015. 28 апреля). Поздравляем Оксану с этим достижением, поддержавшим честь Института в такой своеобразной форме!

По хорошей спортивной традиции с 22 по 26 марта в г. Апатиты состоялись IX Всероссийские соревнования по лыжным гонкам среди сотрудников учреждений Федерального агентства научных организаций — Академиада-2015, в которой активное участие приняли сотрудники Института геологии. Если победа команды геологов СО РАН сомнений не вызвала ни у кого, то за второе и третье места шла ожесточенная борьба между четырьмя командами. В итоге второе место в эстафете заняла сборная Коми НЦ (Сыктывкар), а третье — команда Института ядерной физики СО РАН (Наука Урала. 2015. № 7—8, апрель).

К. г.-м. н. Е. Калинин

ПАМЯТИ АКАДЕМИКА Н. П. ЮШКИНА IN THE MEMORY OF ACADEMICIAN N. P. YUSHKIN



В память об академике Николае Павловиче Юшкине 20 мая на здании Института геологии была открыта мемориальная доска. В торжественном мероприятии приняли участие известные деятели Республики Коми, руководители институтов и вузов, коллеги, друзья, родственники и ученики Николая Павловича.

In the memory of Academician Nikolay Pavlovich Yushkin on the 20th of May the memorial plaque was unveiled on the building of the Institute of Geology. The ceremony was attended by prominent figures of Komi Republic, leaders of institutes and universities, colleagues, friends, relatives and disciples of Nikolay Pavlovich.

Открывший мероприятие директор Института геологии, председатель Коми НЦ УрО РАН академик А. М. Асхабов напомнил собравшимся о необычайно разнообразных научных интересах Николая Павловича; создании сыктывкарской минералогической школы, получившей мировое признание, и формировании более 10 новых направлений в науке. Н. П. Юшкин внес огромный вклад в познание геологии, в развитие и освоение минерально-сырьевой базы Европейского Севера России и Урала, в открытие новых отраслей горнорудной промышленности и новых производств. Научные достижения Н. П. Юшкина были по достоинству оценены и отмечены орденами «За заслуги перед Отечеством» IV и III степеней, Трудового Красного Знамени, медалями и почетными знаками; он стал лауреатом Демидовской премии, заслуженным деятелем науки РСФСР и Коми АССР.

Среди многочисленных учеников Николая Павловича — один академик, множество кандидатов и докторов наук. Двое стали директорами

крупных геологических институтов: А. М. Асхабов, директор ИГ Коми НЦ УрО РАН и Ю. Л. Войтеховский, директор Геологического института

Кольского НЦ РАН. В геологическом мире есть минерал, открытый на Пай-Хое учениками Николая Павловича, названный юшкинитом.



Председатель Президиума Коми НЦ УрО РАН академик А. М. Асхабов и первый зампредседателя Госсовета Республики Коми В. П. Марков



Со словами благодарности и воспоминаниями о Н. П. Юшкине выступили: его дочь, руководитель лаборатории структурной и морфологической кристаллографии Г. Н. Лысюк; главный научный сотрудник лаборатории сравнительной кардиологии Коми НЦ УрО РАН академик М. П. Рошевский, первый зампредела Госсовета Республики Коми В. П. Марков, директор Института естественных наук СыктГУ И. Н. Юраниева, заместитель заведующего кафедрой геологии СыктГУ Т. П. Майорова, главный научный сотрудник ИГ Коми НЦ УрО РАН к. г.-м. н. Е. П. Калинин, главный научный сотрудник ИЯЛИ д. и. н. Э. А. Савельева, ведущий научный сотрудник ИГЕМ РАН, д. г.-м. н. А. Б. Макеев. Сотрудница института Н. В. Лютоева прочла свое стихотворение, посвященное Н. П. Юшкину

Открытие мемориальной доски Николаю Павловичу в день его рождения — это не только дань уважения выдающемуся человеку и руководителю, но и подарок всем работникам нашего института, которые его помнят и любят.

К. г.-м. н. О. Валяева

Дорогие коллеги!

Поздравляем вас с Великим праздником — 70-летием Победы советского народа в Великой Отечественной войне!

От всей души желаем вам здоровья, счастья, благополучия и мирного неба над головой!

Мы помним наших ветеранов, сотрудников института: Б. И. Гуслицера, В. И. Есева, П. Д. Калинина, Л. П. Павлова, В. Н. Охотникова, М. В. Фишмана и К. П. Янулова.

Низкий земной вам поклон и вечная память, фронтовики!



Ответственные за выпуск:
О. В. Валяева, Н. С. Бурдельная

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

Компьютерная верстка
Г. Н. Каблиса

Свид. о рег. средства массовой информации
ПИ № ФС77-56817 от 29.01.2014
Подписано в печать 30.06.2015

Тираж 250



Заказ 974

Редакция:
167982, Сыктывкар, Первомайская, 54

Поздравляем



Ивана Сергеевича КОТИКА

*с успешной защитой
кандидатской диссертации!*

*Желаем и в дальнейшем всегда достигать
поставленных целей.*



Дорогая Вера Васильевна!

Поздравляем Вас с юбилеем! От имени друзей и коллег примите самые нежные и добрые слова. Вы излучаете тепло, рядом с Вами всегда хорошо трудиться и приятно отдыхать. Будьте всегда в отличном настроении, жизнерадостны, оптимистичны и уверены в себе. Оставайтесь всегда такой же красивой, молодой и энергичной!

Тел.: (8212) 24-51-60
Факс: (8212) 44-82-68

Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru