



Содержание

Научные статьи

Уголь Воркутского района: состав углеводородов биомаркеров, возможности получения обеззоленного концентрата

Д. А. Бушнев, Н. С. Бурдельная, С. В. Рябинкин, Д. В. Кузьмин, М. В. Мокеев 3

Биохомогенная природа ордовикских шамозитов на Северном Урале

А. И. Антошкина, Е. С. Пономаренко, В. И. Силаев 12

Локализация тектонических нарушений Печоро-Колвинского авлакогена по сейсмическим данным и их проявление в радоновом поле

Ю. Е. Езимова, В. В. Удоратин, А. Ш. Магомедова 23

Выявление элементов упругой симметрии в образцах анизотропных горных пород методом рентгеновской томографии

В. Л. Ильченко 30

История становления, состояние и перспективы развития газовой промышленности Республики Коми

Н. Н. Тимонина, М. Б. Тарбаев 34

Хроника, события, факты

Геодинамика и рудогенез: всероссийская научная конференция с международным участием 40

Хроника 41

Человек, определивший мою судьбу (памяти академика Н. П. Юшкина) 42

Почетный геолог (к 80-летию Е. П. Калинина) 43

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

Редакционный совет — 2016:

А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
И. Н. Бурцев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
Н. Н. Герасимов, Сыктывкар, Россия
И. В. Козырева, Сыктывкар, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
Р. И. Конеев, Ташкент, Узбекистан
В. А. Коротеев, Екатеринбург, Россия

С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
Ж. К. Мелгарехо, Барселона, Испания
Ф. Мон, Пекин, Китай
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия



September, No. 9 (273), 2017

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

- Coal of Vorkuta region: composition of hydrocarbons of biomarkers, possibility of obtaining an ashless concentrate
D. A. Bushnev, N. S. Burdel'naya, S. V. Ryabinkin, D. V. Kuzmin, M. B. Mokeev 3
- Biochemogenic origin of the ordovician chamosite in the Northern Urals
A. I. Antoshkina, E. S. Ponomarenko, V. I. Silaev 12
- Localization of tectonic deformations of the Pechora-Kolva aulakogen according to seismic data and their occurrence in the radon field
J. E. Ezimova, V. V. Udoratin, A. Sh. Magomedova 23
- Identification of elastic symmetry elements in anisotropic rock samples by x-ray tomography
V. L. Ilchenko 30
- Start-up, present situation and prospects for development of gas industry in Komi Republic
N. N. Timonina, M. B. Tarbaev 34

Chronicle, events, facts

- Geodynamics and ore genesis: All-Russian scientific conference with international participation 40
- Chronicle 41
- The man who decided my life (remembering academician N. P. Yushkin) 42
- Honorary geologist (celebrating the 80th birthday of E. P. Kalinin) 43

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

Editorial Board:

- | | |
|---|--|
| <i>Anna I. Antoshkina</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Sergey V. Krivovichev</i> , Saint Petersburg, Russia |
| <i>Maarten A.T.M. Broekmans</i> , Trondheim, Norway | <i>Sergey K. Kuznetsov</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Igor N. Burtsev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Maximiliano de Souza Martins</i> , Ouro Preto, Brazil |
| <i>Dmitry A. Bushnev</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Tatyana P. Mayorova</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Yury L. Voytekhovsky</i> , Apatity, Russia | <i>Joan Carles Melgarejo</i> , Barcelona, Spain |
| <i>Alexey D. Gvishiani</i> , Moscow, Russia | <i>Fancong Meng</i> , Beijing, China |
| <i>Nikolay N. Gerasimov</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Peep Mannik</i> , Tallinn, Estonia |
| <i>Irina V. Kozyreva</i> , Syktyvkar, Russia | <i>Alexander M. Pystin</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Marko Komac</i> , Ljubljana, Slovenia | <i>Constance M. Soja</i> , Hamilton, NY, USA |
| <i>Rustam I. Koneev</i> , Tashkent, Uzbekistan | <i>Oksana V. Udoratina</i> , Syktyvkar, Russia |
| <i>Viktor A. Koroteev</i> , Ekaterinburg, Russia | <i>Mikhail A. Fedonkin</i> , Moscow, Russia |



УГОЛЬ ВОРКУТСКОГО РАЙОНА: СОСТАВ УГЛЕВОДОРОДОВ БИОМАРКЕРОВ, ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ОБЕЗЗОЛЕННОГО КОНЦЕНТРАТА

Д. А. Бушнев¹, Н. С. Бурдельная¹, С. В. Рябинкин¹, Д. В. Кузьмин¹, М. В. Мокеев²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; burdelnaya@geo.komisc.ru

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург

Методом хромато-масс-спектрометрии исследован состав биомаркеров битумоида углей Воркутского района из шахт Воргашорская, Комсомольская, Октябрьская. Значения коэффициентов P_{aq} и P_{wax} свидетельствуют о выраженном вкладе водной растительности в состав исходной органической массы углей, при этом распределение стерановых углеводородов C_{27} — C_{29} характеризуется доминированием стерана состава C_{29} . Угли Воркутского района неоднородны по составу ароматической фракции битумоида. Доминирование ретена характерно для углей ш. Воргашорской, для углей шахт Комсомольской и Октябрьской этот углеводород не выделяется на фоне остальных ароматических соединений. Для трёх образцов угля экстракцией N-метилпирролидоном получен обеззоленный уголь. Полученный гиперуголь исследован методом ^{13}C ЯМР в твёрдом теле. Значительных отличий в химической структуре исходного угля, гиперугля и остатка не зафиксировано.

Ключевые слова: Воркутский район, гиперуголь, биомаркеры, ^{13}C ЯМР в твёрдом теле.

COAL OF VORKUTA REGION: COMPOSITION OF HYDROCARBONS OF BIOMARKERS, POSSIBILITY OF OBTAINING AN ASHLESS CONCENTRATE

D. A. Bushnev¹, N. S. Burdelnaya¹, S. V. Ryabinkin¹, D. V. Kuzmin¹, M. B. Mokeev²

¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Institute of Macromolecular compounds Russian Academy of Science, St. Petersburg

The biomarkers composition of bitumen isolated from the Vorkuta region coals (the Vorgashorskaya, Komsomolskaya and Oktyabrskaya mines) was studied by gas-chromatography-mass spectrometry. The values of P_{aq} and P_{wax} coefficients indicate a pronounced contribution of aquatic vegetation to the composition of the initial organic mass of the coals, while the distribution of C_{27} — C_{29} sterane hydrocarbons is characterized by the dominance of C_{29} sterane. The coals of the Vorkuta region were heterogeneous in composition of the aromatic fraction of bitumen. The predominance of the retene is characteristic for the coals of Vorgashor, as for coal of Komsomolskaya and Oktyabrskaya, this hydrocarbon does not stand out against the background of other aromatic compounds. For the three coal samples ashless extracts were obtained with N-methylpyrrolidone. The resulting hypercoal was studied by solid state ^{13}C NMR. Significant differences in the chemical structure of the initial coal, hypercoal and residue are not recorded.

Keywords: Vorkuta region, hypercoal, biomarkers, solid state ^{13}C NMR.

Получение так называемых гиперуглей является в настоящее время одним из актуальных направлений развития технологии переработки ископаемых углей [16, 20—22]. Решение этого вопроса связано с несколькими основными задачами: изучением химизма взаимодействия растворителя и органической массы угля [20, 22], изучением влияния известных технологических свойств углей разных марок на выход обеззоленного экстракта [16, 21], поиском возможной взаимосвязи между геохимическими характеристиками органической массы угля (то есть состава биомаркеров) и возможностью получения из него обеззоленного концентрата.

Геохимия биомаркеров углей Печорского бассейна ранее изучалась на материале Неченского месторождения [5], шахты Интинская [3] и разрезов по р. Сырья Воркутского района [4]. Выделение и анализ химической структуры гиперугля осуществлялся на материале углей марки Д шахты Интинская [3].

Целями настоящего исследования является изучение состава углеводородов биомаркеров, содержащихся в би-

тумоиде углей Воркутского и Воргашорского месторождений, а также изучение возможностей получения обеззоленных экстрактов из этих углей при экстракции N-метилпирролидоном.

Экспериментальная часть

Выделение хлороформенного битумоида (ХБА), анализ содержания органического углерода (C_{org}), фракционирование ХБА [1], его анализ методами газовой хроматографии (ГЖХ) и хромато-масс-спектрометрии (ХМС) проводились комплексом ранее отработанных методов [2].

Анализ элементного состава угля проведён в ИБ Коми НЦ УрО РАН.

Для получения обеззоленного экстракта применяли методику [3] с тем отличием, что стадия предварительного обогащения в тяжёлой жидкости была исключена.

Результаты и их обсуждение

Для исследования было отобрано 5 проб углей (см. табл. 1). Исследованные угли относятся к пласту Мощ-



Таблица 1. Геохимическая характеристика исследованных углей

Table 1. Geochemical characteristics of studied coals

Образец Sample	ш. Воргашорская, пласт Мошный, 30—60 см от подошвы Vorgashorskaya Mine, Moshchny bed, 30—60 cm from floor	ш. Воргашорская, пласт Мошный, 120—150 см от подошвы Vorgashorskaya Mine, Moshchny bed, 120—150 cm from floor	ш. Воргашорская, пласт Мошный, 180—200 см от подошвы Vorgashorskaya Mine, Moshchny bed, 180—200 cm from floor	ш. Октябрьская, гор-т 2, пласт Мошный, 150—188 см от подошвы Oktyabrskaya Mine, horizon 2, Moshchny bed, 150—188 cm from floor	ш. Комсомольская, пласт Мошный, 240—270 см от подошвы Komsomolskaya Mine, Moshchny bed, 240—270 cm from floor
Возраст / Age	P ₁ k	P ₁ k	P ₁ k	P ₁ k	P ₁ k
Литология Lithology	Блестящий/полублестящий Bright/semibright				Блестящий Bright
1	2	3	4	5	6
Валовая характеристика / Gross characteristics					
C _{орг} , %	78.28	74.70	76.27	79.41	81.00
ХБА, %	0.55	0.67	0.67	0.48	0.35
A, %	6.6	-	-	6.2	5.6
H/C	0.76			0.73	0.76
O/C	0.090			0.079	0.064
Состав углеводородов битумоида / Bitumoid hydrocarbon composition					
Pr/Ph	8.32	11.66	8.45	6.41	5.19
Pr/C ₁₇	2.82	8.37	3.04	1.72	0.65
2*C ₁₇ /C ₁₆ +C ₁₈	1.04	1.05	1.00	1.02	1.02
2*C ₂₇ /C ₂₆ +C ₂₈	1.28	1.77	2.04	1.15	1.30
Paq	0.88	0.84	0.92	0.83	0.91
Pwax	0.27	0.38	0.24	0.33	0.23
CPI ₂₅₋₃₁	1.39	1.67	2.16	1.29	1.41
22S/22S+R	0.60	0.59	0.59	0.58	0.59
β _α , % C ₃₀	16.72	28.91	18.36	13.07	10.80
20S/20S+R	0.45	0.39	0.46	0.46	0.42
C ₂₉ αββ/αββ+ααα	0.42	0.24	0.35	0.46	0.50
C ₂₇ :C ₂₈ :C ₂₉ αββ-стераны	11:15:74	19:16:65	9:14:76	9:18:73	7:19:74
MPI-1	0.54	0.40	0.45	0.61	0.58
Rc, %	0.70	0.61	0.64	0.73	0.72
Экстракция N-метилпирролидоном / Extraction by methylpyrrolidone					
Выход экстракта, % Yield, %	16.3	-	-	20.0	32.5
A (ГПУ), %	0.4	-	-	0.4	0.1
A (остатка), % A (residue)	7.0	-	-	6.1	6.7

Примечание:

A — зольность, %

C_{орг} — содержание органического углерода, %

ХБА — хлороформенный битумоид A, %

Pr/Ph — пристан/фитан по данным ГЖХ

Pr/C₁₇ — пристан/н-гептадекан по данным ГЖХCPI₂₅₋₃₁ — соотношение н-алканов по данным ГЖХ: $0.5 \cdot (C_{25} + 2 \cdot C_{27} + 2 \cdot C_{29} + C_{31}) / (C_{26} + C_{28} + C_{30})$ $2 \cdot C_{17} / (C_{16} + C_{18})$ — 2*н-гептадекан/(н-гексадекан+н-октадекан) по данным ГЖХαββ-стераны C₂₇:C₂₈:C₂₉ на примере C₂₇ — $100 \cdot (C_{27} \alpha\beta\beta \ 20S + 20R) / (C_{27} \alpha\beta\beta \ 20S + 20R + C_{28} \alpha\beta\beta \ 20S + 20R + C_{29} \alpha\beta\beta \ 20S + 20R)$ по данным хромато-масс-спектрометрии с использованием масс-хроматограммы по 218 иону.C₂₉ αββ/αββ+ααα — $(\alpha\beta\beta \ 20S + 20R) / (\alpha\beta\beta \ 20S + 20R + \alpha\alpha\alpha \ 20S + 20R)$ C₂₉-стеранов по данным хромато-масс-спектрометрии (m/z = 217).20S/(20S+R) — ααα 20S/(ααα 20S+20R) C₂₉-стеранов по данным хромато-масс-спектрометрии (m/z = 217).22S/(22S+R) — αβ 22S/(αβ 22S+22R) C₃₁-гопанов по данным хромато-масс-спектрометрии (m/z = 191).β_α, % C₃₀ — $100 \cdot \text{моретан } C_{30} / (\text{моретан } C_{30} + \text{гопан } C_{30})$ по данным хромато-масс-спектрометрии (m/z = 191).



ный ($p_{14+13+12+11}$) двух месторождений — Воргашорского (ш. Воргашорская) и Воркутского (ш. Октябрьская и ш. Комсомольская). Известно, что по метаморфизму угли этих месторождений несколько отличаются: для Воркутского характерно наличие углей марок 1-2Ж, для Воргашорского — марок Д-1Ж. По своему микрокомпонентному составу угли пласта Мощный характеризуются как преимущественно витринитовые (70 %), с подчинённым содержанием фюзенита (20 %) и незначительным семивитринита и липтинита (до 10 %) [6]. Содержание органического углерода в пробах угля, выход хлороформенного битумоида А и элементный состав приведены в таблице 1.

Состав *n*-алканов и изопреноидов битумоида углей

Насыщенная фракция битумоида углей Воргашорского месторождения характеризуется максимальным содержанием пристана, для этих образцов отношение Pr/Ph превышает 8, а величина отношения Pr/C_{17} больше 3 и достигает 8 в образце 120—150 см. В битумоидах углей Воркутского месторождения отношение Pr/Ph составляет величину 5—6, а отношение Pr/C_{17} меньше 2 (рис. 1, табл. 1). Такие высокие отношения Pr/Ph являются характерными для терригенного органического вещества, накапливавшегося в окислительных обстановках [17]. Известно, что величина отношения Pr/Ph зависит от метаморфизма угля и достигает максимума в интервале 0.5—1.12 % R_o [12, 18]. Для битумоидов угля характерно выраженное доминирование *n*-алканов состава C_{21} , C_{23} , C_{25} , C_{27} , C_{29} , C_{31} над соседними гомологами (рис. 1, табл. 1). Происхождение этих реликтовых углеводородов связывают в случае C_{27} — C_{31} с захоронением остатков высшей растительности, а конкретно с её эпикутикулярными восками. Присутствие углеводородов C_{21} — C_{25} может отражать вклад в состав исходного ОВ сфагнома, погруженных макрофитов, микроводорослей и цианей. Для количественного отражения вклада этих двух групп ископаемого ОВ предложено к использованию два коэффициента [8, 14, 24]:

$$P_{aq} = (C_{23} + C_{25}) / (C_{23} + C_{25} + C_{29} + C_{31}) \text{ и} \\ P_{wax} = (C_{27} + C_{29} + C_{31}) / (C_{23} + C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31}).$$

Для всех исследованных нами образцов $P_{aq} \gg P_{wax}$. Это соотношение коэффициентов характерно для ископаемого органического вещества с существенным вкладом водной растительности.

Состав полициклических биомаркеров

Полициклические биомаркеры стеранового и гопанового рядов несут в своём составе информацию об исходном органическом веществе, условиях его накопления в осадке и термической зрелости [16]. К показателям зрелости органического вещества относят такие отношения, как $20S/20S+R$ и $\alpha\beta\beta/\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha$, определённые по регулярным стеранам состава C_{29} , $22S/22S+R$, рассчитанные по $\alpha\beta$ -гопанам состава C_{31} или C_{32} , а также долям оретановых углеводородов $\beta\alpha$, % C_{30} (табл. 1).

В нашем случае показатель $22S/22S+R$, определённый по составу C_{31} -гопанов, достиг равновесной величины, что указывает на катагенез ОВ выше 0.5 % R_o . Показатели, определённые по стеранам состава C_{29} ($20S/20S+R$ и $\alpha\beta\beta/\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha$), не достигли равновесия, что говорит о термической зрелости ниже 0.8—0.9 % R_o . Наименьшей зрелостью среди исследованных, по данным полициклических биомаркеров, характеризуется образец ш. Воргашорская 120—150 см, а наибольшей — образцы ш. Октябрьская и Комсомольская.

Одним из показателей зрелости, особенно эффективных на начальных стадиях катагенеза, является отношение $\beta\alpha/\alpha\beta+\beta\alpha$ -гопанов, то есть доля моретанов. Эта величина в обычных нефтематеринских породах резко убывает до величины 0.05 при достижении величины R_o 0.7 %. В случае же углей иногда наблюдается отношение ba/ab , равное 0.3 при величине R_o в интервале 0.6—0.7 % [15]. В нашем случае высокое содержание моретана фиксируется в образце ш. Воргашорская 120—150 см (табл. 1).

Одним из основных показателей, отражающих состав исходного органического вещества осадков, является распределение регулярных стеранов состава C_{27} — C_{29} . Для исследованных углей не выявлено значимой разницы в составе стеранов, для всех них характерно доминирование стерана C_{29} при подчинённом положении стеранов состава C_{27} и C_{28} . Доля данного углеводорода составляет здесь 65—76 %. Эта картина практически не отличается от зафиксированной ранее в углях из верхнепермских отложений по р. Сырьяга (Воркутский район) [3], в то время как для углей из Интинского и Неченского (Интинский район) месторождений характерно ещё более высокое содержание стерана C_{29} , которое составляет здесь 68—90 % [4, 5]. В любом случае высокая концентрация стерана C_{29} выступает в качестве признака значительного вклада терригенного органического вещества в осадок [17].

Notes for the table 1:

A — ash content, %

C_{org} — content of organic carbon, %

XBA — chloroform bitumoid A, %

Pr/Ph — pristane/phytane according to GC

Pr/C_{17} — pristane/*n*-heptadecane according to GC

CPI_{25-31} — the ratio of *n*-alkanes according to GC: $0.5 * 0.5 * (C_{25} + 2 * C_{27} + 2 * C_{29} + C_{31}) / (C_{26} + C_{28} + C_{30})$

$2 * C_{17} / (C_{16} + C_{18})$ — 2 * *n*-heptadecane/(*n*-hexadecane + *n*-octadecane) according to GC

$\alpha\beta\beta$ -steranes $C_{27}:C_{28}:C_{29}$ on example C_{27} — $100\% * (C_{27} \alpha\beta\beta 20S+20R) / (C_{27} \alpha\beta\beta 20S+20R + C_{28} \alpha\beta\beta 20S+20R + C_{29} \alpha\beta\beta 20S+20R)$ by chromato-mass spectrometry using a 218-ion mass-chromatogram.

$C_{29} \alpha\beta\beta/\alpha\beta\beta+\alpha\alpha\alpha$ — $(\alpha\beta\beta 20S+20R) / (\alpha\beta\beta 20S+20R + \alpha\alpha\alpha 20S+20R)$ C_{29} -steranes according to chromato-mass spectrometry ($m/z = 217$).

$20S/(20S + R)$ — $\alpha\alpha\alpha 20S/(\alpha\alpha\alpha 20S + 20R)$ C_{29} -steranes according to chromato-mass spectrometry ($m/z = 217$).

$22S/(22S+R)$ — $\alpha\beta 22S/(\alpha\beta 22S+22R)$ C_{31} -hopanes according to chromato-mass spectrometry ($m/z = 191$).

$\beta\alpha$, % C_{30} — $100 * \text{moretane } C_{30} / (\text{moretane } C_{30} + \text{hopane } C_{30})$ according to chromato-mass spectrometry ($m/z = 191$).

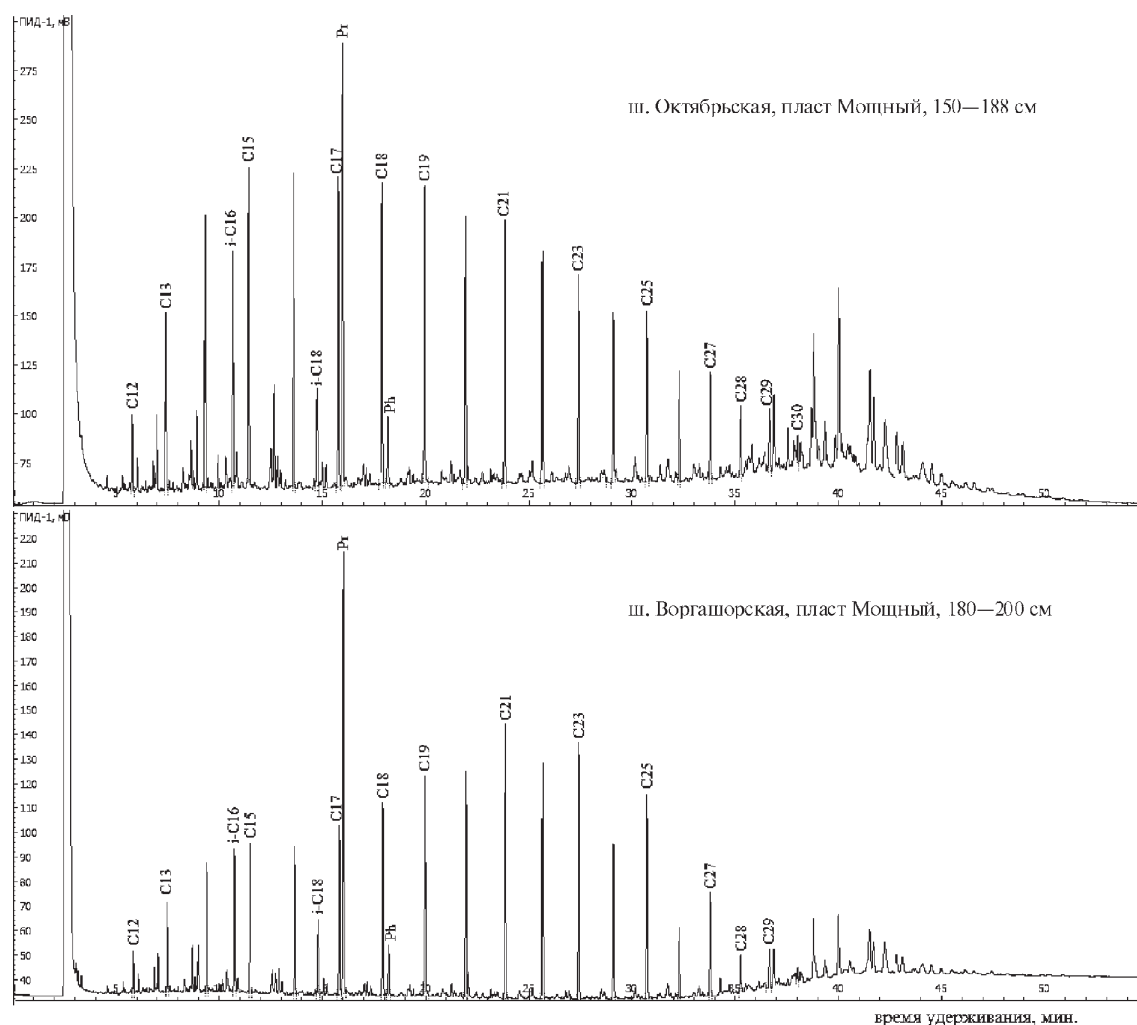


Рис. 1. Хроматограммы алифатической фракции битумоида углей

Fig. 1. Chromatograms of aliphatic fraction of coal bitumoid

Состав ароматических углеводородов битумоида

В ароматической фракции хлороформных экстрактов изученных углей присутствует сходный набор ароматических компонентов, представленных преимущественно метил-, диметил- и триметилнафталинами, фенантrenom и его метил-, диметил- и триметилпроизводными, метил- и этилзамещенными бифенилами, а также метил- и диметилбензофуранами (рис. 2, табл. 2). В подчиненных концентрациях находятся пирен и его метилзамещенные гомологи, а также бензо[b]нафтофураны. Все перечисленные выше соединения являются основными компонентами битумоида, свойственного гумусовому ОВ [3, 13, 23].

Из представленной выборки образцов можно выделить два типа распределения ароматических компонентов фракции (рис. 2). Для образцов из ш. Комсомольская и Октябрьская производные нафталина, фенантрена, бифенила и дибензофурана являются доминирующими в ароматической фракции, для экстрактов углей из ш. Воргашорская на фоне этих компонентов резко выделяется пик, относящийся к ретену (48), представляющему конечный

продукт преобразования абиетиновой кислоты, входящей в состав смолы хвойных растений (рис. 3). В образцах из ш. Комсомольская и Октябрьская концентрация ретена находится на уровне алкилзамещенных нафталинов и фенантренов. Наличие ретена и метилретена (вероятно, 2-метилретена, образующегося из абиетана при перемещении одной из метильных групп в гем-диметильном фрагменте (рис. 3), свидетельствует о вкладе хвойной растительности в формирование состава органической массы углей [23].

В составе ароматической фракции битумоидов углей раннепермского возраста Интинского месторождения Печорского угольного бассейна наряду с ретенom и метилретенom в значительных концентрациях были обнаружены промежуточные продукты трансформации абиетиновой кислоты (рис. 3) — дегидроабиетан и симмонеллит [10]. Эти соединения можно обнаружить исключительно в незрелых углях, в которых отражательная способность витринита не превышает 0.7—0.8 % [13]. Отсутствие дегидроабиетана и симмонеллита в воркутинских экстрактах подтверждает значительную зрелость углей. Кадален, предшественником которого является бициклический сес-

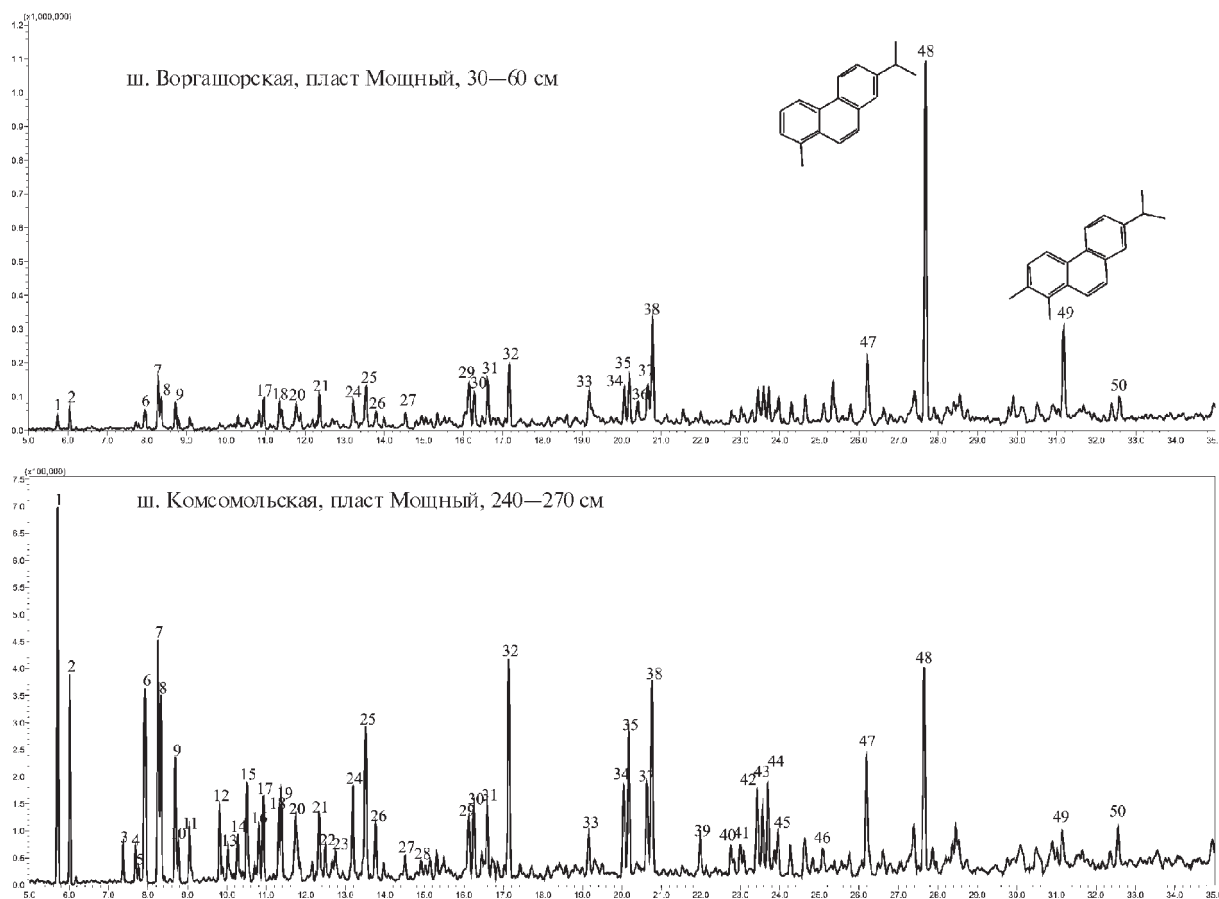


Рис. 2. Масс-хроматограммы по общему ионному току ароматических фракций битумоида углей

Fig. 2. Mass-chromatograms for total ion current of aromatic fractions of coal bitumoid

квитерпен — кадинен, обнаруживаемый во многих травянистых растениях, бурых водорослях, мохообразной растительности, грибах и ряде других источников [9], также присутствует в значительных концентрациях в составе ароматической фракции интинских экстрактов углей. В воркутинских углях его содержание ничтожно. Отношение содержания кадалена к ретену активно используется в интерпретации изменения видового состава растительности и возраста пород [7, 19]. Поскольку источником обоих компонентов является терригенная растительность, то преобладание одного из них в исследуемых углях может свидетельствовать либо о смене растительности, либо об удалении (приближении) береговой линии от места накопления (палеобассейна). Так, повышенное содержание ретена относительно кадалена авторы [7] связывают с удаленностью от источника сноса, поскольку ретен, входящий в состав смолистых веществ, является более устойчивым к транспортировке.

Установленная нами разница в распределении ароматических компонентов между битумоидами Воркутских углей сопровождается также и неодинаковым содержанием ароматической фракции в битумоиде. Для углей из ш. Воргашорская выход ароматической фракции составил более 20 % в пересчете на исходный битумоид, для углей из ш. Комсомольская и Октябрьская — 13 и 15 % соответственно.

Элементный состав угля

Атомные отношения Н/С и О/С, нанесенные на диаграмму Ван Кревелена (рис. 4), указывают на соответствие метаморфизма изучаемых углей каменноугольной стадии. При этом зрелость органического вещества угля из ш. Воргашорская ниже, чем для углей ш. Октябрьская и Комсомольская, что подтверждает результаты, полученные при анализе углеводородов битумоида. Результаты элементного анализа могут указывать на более высокий катагенез органического вещества угля по сравнению с данными по полициклическим биомаркерам битумоида.

Получение гиперуглей

Получение обеззоленных углей является важнейшей технологической задачей, решение которой способно принципиально изменить баланс в топливно-энергетической сфере. Предыдущие исследования показали возможность получения обеззоленного концентрата из углей марки Д шахты Интинская [3]. При экстракции N-метилпирролидоном здесь был получен гиперуголь с выходами 11—31 % на породу. Выходы обеззоленных экстрактов из углей, рассматриваемых в данной работе, составляют 16—32 % на породу (табл. 1). Наиболее высокие выходы экстракта были получены после обработки исходных углей из ш. Комсомольская и Октябрьская.



Таблица 2. Расшифровка пиков ароматических соединений на рис. 2

Table 2. Decoding of peaks of aromatic compounds at Fig. 2

	Название соединения / Compound	Характеристические ионы Characteristic ions	Название соединения / Compound	Характеристические ионы Characteristic ions
1	2-метилнафталин / 2-methylnaphthalene	142 (M ⁺)	1-метилдифензофуран / 1-methyldibenzofuran	26
2	1-метилнафталин / 1-methylnaphthalene	142 (M ⁺)	1,3,6,7-тетраметилнафталин / 1,3,6,7-tetramethylnaphthalene	27
3	Бифенил / biphenyl	154 (M ⁺)	Кадален / cadalen	28
4	2-этилнафталин / 2-ethylnaphthalene	141, 156 (M ⁺)	Диметилдифензофуран / dimethyldibenzofuran	29
5	1-этилнафталин / 1-ethylnaphthalene	141, 156 (M ⁺)	Диметилдифензофуран / dimethyldibenzofuran	30
6	2,6- + 2,7-диметилнафталины / 2,6- + 2,7-dimethylnaphthalenes	141, 156 (M ⁺)	Диметилдифензофуран / dimethyldibenzofuran	31
7	1,3- + 1,7-диметилнафталины / 1,3- + 1,7-dimethylnaphthalenes	141, 156 (M ⁺)	Фенантрен / phenanthrene	32
8	1,6-диметилнафталин / 1,6-dimethylnaphthalene	141, 156 (M ⁺)	Триметилдифензофуран ? / trimethyldibenzofuran ?	33
9	1,4 + 2,3-диметилнафталины / 1,4 + 2,3-dimethylnaphthalenes	141, 156 (M ⁺)	3-метилфенантрен / 3-methylphenanthrene	34
10	1,5-диметилнафталин / 1,5-dimethylnaphthalene	141, 156 (M ⁺)	2-метилфенантрен / 2-methylphenanthrene	35
11	1,2-диметилнафталин / 1,2-dimethylnaphthalene	141, 156 (M ⁺)	2-метилантрацен / 2-methylanthracene	36
12	2-метил-бифенил / 2-methyl-biphenyl	168 (M ⁺)	9-метилфенантрен / 9-methylphenanthrene	37
13	?-метил-бифенил / ?-methyl-biphenyl	168 (M ⁺)	1-метилфенантрен / 1-methylphenanthrene	38
14	2-изопропилнафталин / 2-isopropyl-naphthalene	155, 170 (M ⁺)	2-фенилнафталин / 2-phenylnaphthalene	39
15	Дифензофуран / dibenzofuran	139, 168 (M ⁺)	3,5+2,6-диметилфенантрены / 3,5 + 2,6-dimethylphenanthrenes	40
16	1,3,7-триметилнафталин / 1,3,7-trimethylnaphthalene	155, 170 (M ⁺)	1,3 + 3,9 + 2,10 + 3,10-диметилфенантрены / 1,3 + 3,9 + 2,10 + 3,10-dimethylphenanthrenes	41
17	1,3,6-триметилнафталин / 1,3,6-trimethylnaphthalene	155, 170 (M ⁺)	1,6 + 2,9 + 2,5-диметилфенантрены / 1,6 + 2,9 + 2,5-dimethylphenanthrenes	42
18	1,4,6- + 1,3,5-триметилнафталины / 1,4,6- + 1,3,5-trimethylnaphthalenes	155, 170 (M ⁺)	1,7-диметилфенантрен / 1,7-dimethylphenanthrene	43
19	2,3,6-триметилнафталин / 2,3,6-trimethylnaphthalene	155, 170 (M ⁺)	1,9 + 4,9 + 4,10-диметилфенантрены / 1,9 + 4,9 + 4,10-dimethylphenanthrenes	44
20	1,2,7- + 1,6,7- + 1,2,6-триметилнафталины ? / 1,2,7- + 1,6,7- + 1,2,6-trimethylnaphthalenes ?	155, 170 (M ⁺)	Флуорантен / fluoranthene	45
21	1,2,5-триметилнафталин / 1,2,5-trimethylnaphthalene	155, 170 (M ⁺)	Пирен / pyrene	46
22	? диметилбифенил / ? dimethylbiphenyl	167, 182 (M ⁺)	Метилэтилфенантрен? / methylphenanthrene?	47
23	? диметилбифенил / ? dimethylbiphenyl	167, 182 (M ⁺)	Ретен / retene	48
24	4-метилдифензофуран / 4-methyldibenzofuran	182 (M ⁺)	2-метилретен / 2-methylretene	49
25	3- + 2-метилдифензофуран / 3- + 2-methyldibenzofuran	182 (M ⁺)	Хризен / chrysene	50

Примечание: «?» — достоверность идентификации вызывает сомнения; M⁺ — молекулярный ион.

Note: «?» — identification confidence is doubted; M⁺ — molecular ion.

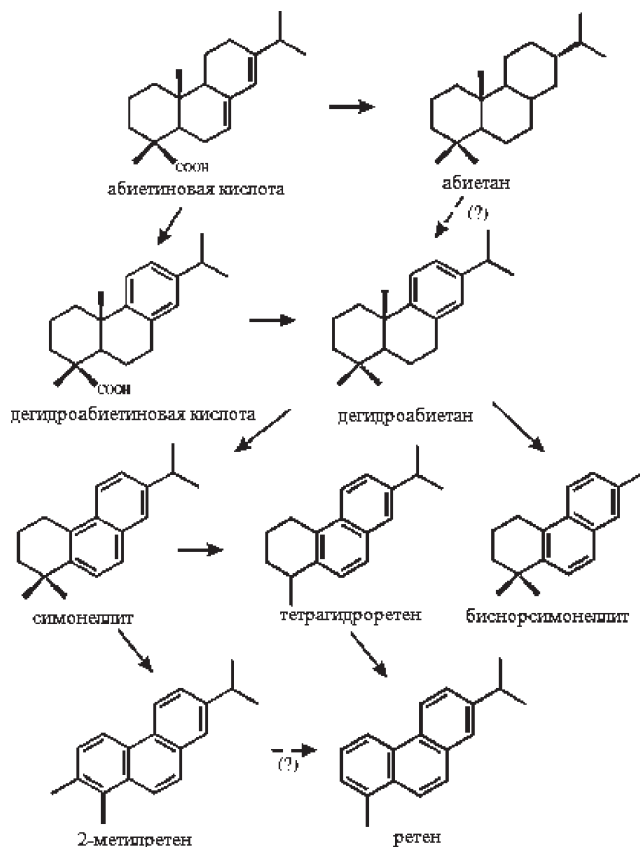


Рис. 3. Схема превращения абиединовой кислоты в ретен [3]

Fig. 3. Scheme of conversion of abietic acid to retene [3]

Спектроскопия ^{13}C ЯМР угля и гиперугля

Отличием ЯМР-спектроскопии от ряда других спектральных или термических методов в получении информации о структуре органической массы углей является целостность представления о строении углеродного каркаса (матрицы) угля и экстракта в данном случае. Так, в полученных спектрах ^{13}C CP/MAS ЯМР исходных углей и экстракта отражены сигналы, характерные для ароматического (100–145 м.д.) и алифатического (10–45 м.д.) углерода (рис. 5) [26]. Самый интенсивный сигнал при 127 м.д. соответствует протонированному и межциклическому углероду в ароматической системе структуры угля (в спектре они перекрываются), сигнал при 138 м.д. относится к углероду в ароматическом кольце, замещенному алкильным радикалом. В алифатической области четко выделяются два сигнала, отвечающие углероду в концевых метильных группах (21 м.д.) и углероду в метиленовых группах (30 м.д.) соответственно [26]. Сигнал в области 155 м.д. соответствует углероду, связанному с гидроксильными группами в ароматическом кольце (фенольный). Далее в структуре гиперуглей фиксируются сигналы, отвечающие углероду, связанному с азотом (CH_3N) (29–30 м.д.), углероду в группах $-\text{OCH}_3$ и $-\text{CH}_2-\text{N}$ (49 м.д.), сложноэфирных группах или циклических амидах (175 м.д.), что может являться результатом обработки углей N-метилпирролидоном [11, 25]. Можно сказать, что, судя по спектрам ЯМР, различия в составе структурных блоков органического вещества исходного угля, обеззоленного угля и остатка ми-

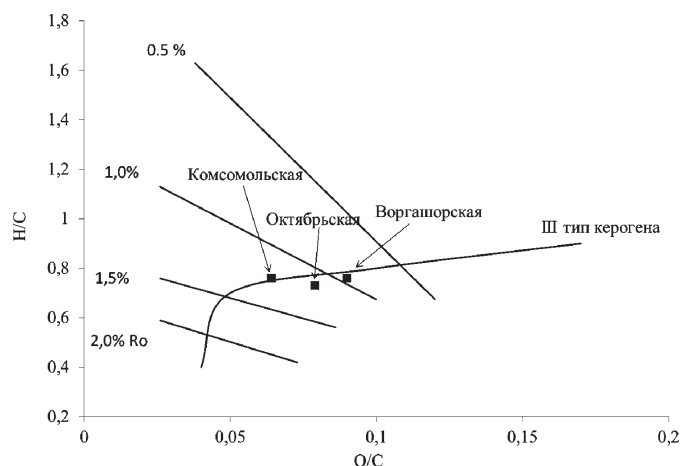


Рис. 4. Результаты элементного анализа углей Воркутского района на диаграмме Ван Кревелена

Fig. 4. Results of elemental analysis of coals of Vorkuta region on the Van Crevelen diagram

нимальны. Можно предположить, что полнота извлечения органической массы угля при экстракции N-метилпирролидоном определяется в основном молекулярными весами растворяющихся молекул и в меньшей мере особенностями их химического строения. Для спектров ЯМР гиперугля и остатка характерно наличие сигналов, отвечающих остаточным количествам растворителя.

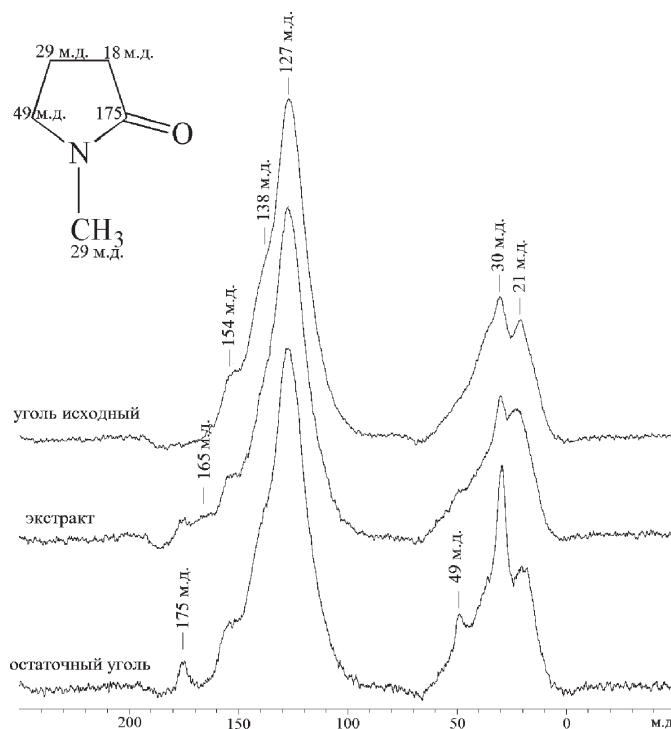


Рис. 5. CP/MAS-спектры исходного угля, гиперугля и остатка для образца ш. Воргашорская 30–60 см от подошвы

Fig. 5. CP/MAS-spectra of initial coal, hypercoal and residue for sample from Vorgashorskaya mine 30–60 cm from floor

Заключение

Таким образом, анализ состава углеводородов биомаркеров, содержащихся в битумоиде углей Воркутского района, показал, что исходное органическое вещество этих углей представлено как остатками водной растительности, так и массой хвойных пород древесины. Зрелость органического вещества углей, по данным полициклических биомаркеров, не слишком велика и не превышает 0.8—0.9 % R_o , по результатам элементного анализа метаморфизм углей может быть оценён как более высокий.

В рамках настоящего исследования экспериментально проверена возможность получения обеззоленных углей из сырья Воркутского района. Гиперугли получены экстракцией N-метилпирролидоном с выходами 16—32 %. По данным ЯМР-спектроскопии, по химической структуре обеззоленные угли, исходные угли и органическое вещество остатка близки между собой.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Коми № 16-45-110979 «Получение и структурные особенности гиперуглей из углей Печорского угольного бассейна».

Литература

1. Бушнев Д. А. Аноксический раннемеловой бассейн Русской плиты: органическая геохимия // Литология и полезные ископаемые. 2005. № 1. С. 25—34.
2. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С. Нефти и органическое вещество позднедевонских отложений Тимано-Печорского бассейна, сопоставление по молекулярным и изотопным данным // Нефтехимия. 2015. Т. 55. № 5. С. 375—382.
3. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Кузьмин Д. В., Мокеев М. В., Бурцев И. Н. Биомаркеры углей Интинского месторождения, выделение и анализ химической структуры гиперуглей // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016а. № 11. С. 17—24.
4. Бушнев Д. А., Валяева О. В., Котик И. С., Бурдельная Н. С., Бурцев И. Н. Состав биомаркеров битумоидов из углей и вмещающих отложений северо-востока Печорского угольного бассейна // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016б. № 6. С. 3—10.
5. Валяева О. В., Бушнев Д. А., Бурцев И. Н. Геохимия углей Неченского месторождения // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 8. С. 2—5.
6. Воркутский угленосный геолого-промышленный район: структура запасов и направления комплексного освоения. Сыктывкар, 1994. 272 с.
7. Остроухов С. Б., Цыганкова В. А., Медведева Е. П. Геохимические индикаторы палеогеографической обстановки осадконакопления Северного Каспия в раннемеловое время // Трофимукские чтения — 2013: Материалы всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых. Новосибирск, 2013. С. 467—470.
8. Andersson R. A., Kuhry P., Meyers P., Zebühr Y., Crill P., Mörtz M. Impacts of paleohydrological changes on n-alkane biomarker compositions of a Holocene peat sequence in the eastern European Russian Arctic // Organic Geochemistry. 2011. V. 42. P. 1065—1075.
9. Bordoloi M., Shukla V. S., Nath S. C., Sharma R. P. Naturally occurring candinenes // Phytochemistry. 1989. Vol. 28. No. 8. Pp. 2007—2037.
10. Burdelynaya N. S., Bushnev D. A., Kuzhmin D. V., Burtsev I. N. Pechora basin coals organic geochemistry and hypercoal

production // Book of Abstracts 28th International Meeting on Organic Geochemistry, Prague. September 17—22. 2017.

11. Cai M. F., Smart R. B. Quantitative analysis of N-methyl-2-pyrrolidinone in coal extracts by TGA-FTIR // Energy and Fuels. 1993. V. 7 (1). P. 52—56.
12. Diessel C.F.K. Coal-Bearing Depositional Systems / C.F.K. Diessel Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1992. 721 p.
13. Fabianska M. J., Cmiel S. R., Misz-Kennan M. (2013) Biomarkers and aromatic hydrocarbons in bituminous coals of Upper Silesian Coal Basin: Example from 405 coal seam of the Zaleskie Beds (Poland) // International Journal of Coal Geology. 107. P. 96—111.
14. Ficken K. J., Li B., Swain D. L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes // Organic Geochemistry. 2000. V. 31. P. 745—749.
15. Norgate C. M., Boreham C. J., Wilkins A. J. Changes in hydrocarbon maturity indices with coal rank and type, Buller Coalfield, New Zealand // Organic Geochemistry, 1999, V. 30, P. 985—1010.
16. Okuyama N., Komatsu N., Shigehisa T., Kaneko T., Tsuruya S. Hyper-coal process to produce the ash-less coal // Fuel Processing Technology. 2004. Vol. 85. P. 947—967.
17. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan, J. M. The Biomarker Guide. Second Edition. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press, 2005. 1132 p.
18. Radke M., Schaefer R. G., Leythaeuser D. Composition of soluble organic matter in coals: relation to rank and liptinite fluorescence // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1980. Vol. 44. P. 1787—1800.
19. Saito R., Kaiho K., Oba M., Takahashi S., Chen Z-Q., Tong J. A terrestrial vegetation turnover in the middle of the Early Triassic // Global and Planetary Change. 2013. Vol. 105. P. 152—159.
20. Shui H., Zhou Y., Li H., Wang Z., Lei Z., Ren S., Pan C., Wang W. Thermal dissolution of Shenfu coal in different solvents // Fuel. 2013. Vol. 108. P. 385—390.
21. Takanohashi T., Shishido T., Kawashima H., Saito I. Characterisation of Hyper Coals of various ranks // Fuel. 2008. Vol. 87. Pp. 592—598.
22. Takanohashi T., Yanagida T., Iino M., Mainwaring D. E. Extraction and swelling of low-rank coals with various solvents at room temperature // Energy & Fuels. 1996. Vol. 10. P. 1128—1132.
23. Tewari A., Dutta S., Sarkar T. (2017) Biomarker signatures of Permian Gondwana coals from India and their palaeobotanical significance // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 468. P. 414—426.
24. Zheng Y., Zhou W., Meyers P., Xie S. Lipid biomarkers in the Zoigk-Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China // Organic Geochemistry. 2007. V. 38. P. 1927—1940.
25. Wei Z., Gao X., Zhang D., Da J. Assessment of thermal evolution of kerogenopolymers with their structural parameters measured by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy // Energy and Fuels. 2005. No. 19. Pp. 240—250.
26. White C. M., Rohar P. C., Veloski G. A., Anderson R. R. Practical notes on the use of N-methyl-2-pyrrolidinone as a solvent for extraction of coal and related materials // Energy and Fuels. 11 (1997). P. 1105—1106.

References

1. Bushnev D. A. Anoksicheskie ranne-melovoi basseyn Russkoi plity: Organicheskaya geokhimiya (Anoxic Early Cretaceous ba-



sin of Russian plate). *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2005, No.1, pp. 25—34.

2. Bushnev D. A., Burdelnaya N. S. *Nefti i organicheskoe veschestvo pozdnedevonskih otlozhenii Timano-Pechorskogo basseina, sopostavlenie po molekulyarnym i izotopnym dannym* (Oils and organic matter of Late Devonian deposits of Timan-Pechora basin, comparison by molecular and isotope data). *Neftehimiya*, 2015, V. 55, No. 5, pp. 375—382.

3. Bushnev D. A., Burdelnaya N. S., Kuzmin D. V., Mo-keev M. V., Burtsev I. N. *Biomarkery uglei Intinskogo mestorozhdeniya, vydelenie i analiz himicheskoi struktury giperuglei* (Biomarkers of coals of Inta deposit, determination and analysis of chemical structure of hypercoals). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2016a, No. 11, pp. 17—24.

4. Bushnev D. A., Valyaeva O. V., Kotik I. S., Burdelnaya N. S., Burtsev I. N. *Sostav biomarkerov bitumoidov iz uglei i vmeschayuschih otlozhenii severo-vostoka Pechorskogo ugolnogo basseina* (Composition of biomarkers of bitumen from coals and enclosing rocks of North-East Pechora coal basin). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2016b, No. 6, pp. 3—10.

5. Valyaeva O. V., Bushnev D. A., Burtsev I. N. *Geohimiya uglei Nechenskogo mestorozhdeniya* (Geochemistry of coals of Nechenskoe deposit). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, Syktyvkar, 2012, No. 8, 212, pp. 2—5.

6. *Vorkutskii ugleonosnyi geologo-promyshlennyy raion: struktura zapasov i napravleniya kompleksnogo osvoeniya* (Vorkuta coal-bearing geological-industrial region): structure of reserves and directions of development). Syktyvkar, 1994, 272 pp.

7. Ostrouhov S. B., Tsygankova V. A., Medvedeva E. P. *Geohimicheskie indikatory paleogeograficheskoi obstanovki osadkonakopleniya Severnogo Kaspiya v rannemelovoe vremya* (Geochemical indicators of paleogeographical environments of Northern Caspian Sea in Early Cretaceous period). *Trofimukov Readings — 2013: Proceedings of conference*. Novosibirsk, 2013, pp. 467—470.

8. Andersson R. A., Kuhry P., Meyers P., Zebühr Y., Crill P., Mörtz M. Impacts of paleohydrological changes on n-alkane biomarker compositions of a Holocene peat sequence in the eastern European Russian Arctic. *Organic Geochemistry*, 2011, V. 42, pp. 1065—1075.

9. Bordoloi M., Shukla V. S., Nath S. C., Sharma R. P. Naturally occurring candinenes. *Phytochemistry*, 1989, V. 28, No. 8, pp. 2007—2037.

10. Burdelnaya N. S., Bushnev D. A., Kuzhmin D. V., Burtsev I. N. Pechora basin coals organic geochemistry and hypercoal production. Book of Abstracts 28th International Meeting on Organic Geochemistry, Prague. September 17—22, 2017.

11. Cai M. F., Smart R. B. Quantitative analysis of N-methyl-2-pyrroldinone in coal extracts by TGA-FTIR. *Energy and Fuels*, 1993, V. 7 (1), pp. 52—56.

12. Diessel C.F.K. *Coal-Bearing Depositional Systems*. C.F.K. Diessel Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1992, 721 p.

13. Fabianska M. J., Cmiel S. R., Misz-Kennan M. (2013) Biomarkers and aromatic hydrocarbons in bituminous coals of Upper Silesian Coal Basin: Example from 405 coal seam of the Zaleskie Beds (Poland). *International Journal of Coal Geology* 107, 96—111.

14. Ficken K. J., Li B., Swain D. L., Eglinton G. An n-alkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes. *Organic Geochemistry*, 2000, V. 31, pp. 745—749.

15. Norgate C. M., Borehamb C. J., Wilkins A. J. Changes in hydrocarbon maturity indices with coal rank and type, Buller Coalfield, New Zealand. *Organic Geochemistry*, 1999, V. 30, pp. 985—1010.

16. Okuyama N., Komatsu N., Shigehisa T., Kaneko T., Tsuruya S. Hyper-coal process to produce the ash-less coal // *Fuel Processing Technology*, 2004. V. 85, pp. 947—967.

17. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan, J. M. *The Biomarker Guide*. Second Edition. Cambridge, New York, Melbourne: Cambridge University Press. 2005. 1132 pp.

18. PriceRadke M., Schaefer R. G., Leythaeuser D. Composition of soluble organic matter in coals: relation to rank and liptinite fluorescence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, V. 44, pp. 1787—1800.

19. Saito R., Kaiho K., Oba M., Takahashi S., Chen Z-Q., Tong J. A terrestrial vegetation turnover in the middle of the Early Triassic. *Global and Planetary Change*, 2013, V. 105, pp. 152—159.

20. Shui H., Zhou Y., Li H., Wang Z. Lei Z., Ren S., Pan C. Wang W. Thermal dissolution of Shenfu coal in different solvents. *Fuel*, 2013, V. 108, pp. 385—390.

21. Takanohashi T., Shishido T., Kawashima H., Saito I. Characterisation of HyperCoals of various ranks. *Fuel*, 2008, V. 87, pp. 592—598.

22. Takanohashi T., Yanagida T., Iino M., Mainwaring D. E. Extraction and swelling of low-rank coals with various solvents at room temperature. *Energy & Fuels*, 1996, V. 10, pp. 1128—1132.

23. Tewari A., Dutta S., Sarkar T. (2017) Biomarker signatures of Permian Gondwana coals from India and their palaeobotanical significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 468, 414—426.

24. Zheng Y., Zhou W., Meyers P., Xie S. Lipid biomarkers in the Zoigk-Hongyuan peat deposit: Indicators of Holocene climate changes in West China. *Organic Geochemistry*, 2007, V. 38, pp. 1927—1940.

25. Wei Z., Gao X., Zhang D., Da J. Assessment of thermal evolution of kerogen geopolymers with their structural parameters measured by solid-state ¹³C NMR spectroscopy. *Energy and Fuels*, 2005, No. 19, pp. 240—250.

26. White C. M., Rohar P. C., Veloski G. A., Anderson R. R. Practical notes on the use of N-methyl-2-pyrroldinone as a solvent for extraction of coal and-related materials. *Energy and Fuels* 11 (1997), pp. 1105—1106.

БИОХЕМОГЕННАЯ ПРИРОДА ОРДОВИКСКИХ ШАМОЗИТОВ НА СЕВЕРНОМ УРАЛЕ

А. И. Антошкина, Е. С. Пономаренко, В. И. Силаев

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН; antoshkina@geo.komisc.ru

Представлены результаты литолого-минералого-геохимических исследований средне- и верхнеордовикских глинисто-карбонатных пород с шамозитовыми ооидами в разнофациальных разрезах большекосьюнской свиты в бассейне р. Илыч на Северном Урале. В сидерит-шамозитовых ооидах выявлены наноккокковые и нанотрубчатые бактериоморфы и минерализованные микробные пленки. Последние обнаруживают большое сходство с гликокаликсом — продуктом жизнедеятельности современных бактерий. Основные минералы в ооидах представлены тремя разновидностями шамозита, карбонатами ряда кальцит — сидерит, фосфатами, сульфатами, оксидами, сульфидами, включая фрамбоидальный пирит. Изотопный состав углерода и кислорода в породах ($\delta^{13}\text{C} = 0.6\text{—}0.9\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 21.7\text{—}22.6\text{‰}$) и в ооидах ($\delta^{13}\text{C} = -0.16\text{—}-2.86\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 20.57\text{—}22.31\text{‰}$) отражает поступление в бассейн седиментации пресных речных вод. Изотопный состав углерода в ОВ породы (-28.72‰) говорит о существенном влиянии в формировании осадков биогенного углерода. Образование средне- и верхнеордовикских сидерит-шамозитовых ооидов происходило в приэкваториальном морском бассейне с газофлюидными придонными высачиваниями и активной деятельностью сульфатредуцирующих бактерий.

Ключевые слова: бактериоморфные структуры, аутигенные минералы, шамозитовые ооиды, $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, средний-верхний ордовик, Северный Урал.

BIOCHEMOGENIC ORIGIN OF THE ORDOVICIAN CHAMOSITE IN THE NORTHERN URALS

A. I. Antoshkina, E. S. Ponomarenko, V. I. Silaev

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The results of lithological-mineralogical and geochemical studies of the Middle-Upper Ordovician clay-carbonate rocks with chamosite ooids in facies different sections of the Bol'shaya Kos'yua Formation in the Ilych River basin of the Northern Urals are presented. In the siderite-chamosite ooids we identified nanococci and nanotubular bacteriomorphic and mineralized microbial films. The latter showed great similarity with the glycocalyx — a by-product of modern bacteria. The main minerals in ooids are represented by three species of chamosite, carbonates of a calcite-siderite number, phosphates, sulfates, oxides, sulfides, including framboidal pyrite. Isotopic composition of carbon and oxygen in rocks ($\delta^{13}\text{C} = 0.6\text{—}0.9\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 21.7\text{—}22.6\text{‰}$) and ooids ($\delta^{13}\text{C} = -0.16\text{—}-2.86\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 20.57\text{—}22.31\text{‰}$) reflects a supply of fresh river water in a sedimentation basin. Isotopic composition of carbon in the organic matter of rocks (-28.72‰) reflects a significant influence in the formation of precipitation of biogenic carbon. Formation of the Middle-Upper Ordovician siderite-chamosite ooids originated in subequatorial coastal-sea basin with a gas-fluid seeps and activity of sulfate-reducing bacteria.

Keywords: bacteriomorphic structures, authigenic minerals, chamosite ooids, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, euxinic environments, Middle-Upper Ordovician, Northern Urals.

Введение

Изучаемые разрезы на Северном Урале расположены в полосе развития среднеордовикских отложений, прослеживающихся от р. Унья до р. Илыч, которые были выделены и датированы по фауне брахиопод и мшанок В. А. Варсанюфьевой [4]. Первые исследования шамозитовых оолитовых руд из этих разрезов, установленных и описанных Я. Э. Юдовичем с коллегами [16, 17], выявили присутствие в оолитах и вмещающей глинистой массе наряду с шамозитом сидерита и гидробиотита, свидетельствующего о близости береговой линии с корой выветривания. По конодонтам и брахиоподам возраст шамозитовых руд был определен С. В. Мельниковым как лланвирнлландейльский среднего ордовика [17]. При проведении геолого-съемочных работ в 1990-х годах под руководством Б. Я. Дембовского глинисто-карбонатные отложения с прослоями шамозитовых оолитов были выделены в большекосьюнскую свиту, возраст которой был датирован карадокским ярусом среднего ордовика [Дембовский и др., 1992ф].

Согласно современной стратиграфической шкале ордовика [10], карадокский ярус соответствует сандбийскому ярусу основания верхнего ордовика. Определенные В. А. Наседкиной в верхней части большекосьюнкой свиты на р. Б. Косью конодонты *Baltoniodus alobatus* (Bergstrom, 1971) [Дембовский и др., 1992ф] являются зональным видом для верхней части сандбийского и основания катийского ярусов [19, 24]. В то же время комплекс конодонтов, по определению В. А. Наседкиной, из известняков с ооидами на р. Илыч включает виды как среднеордовикские — *Drepanodus deltifer* Lindstrom, *Scandodus ovalis* Nas., *Oistodus* sp., *Acodus* sp., так и карадокские (= верхнеордовикские — сандбийские) — *Drepanodus suberectus* Branson et Mehl, *Phragmodus* cf. *flexuosus* Mosk., *P.* cf. *undatus* Branson et Mehl., *Baltoniodus variabilis* (Bergstrom, 1962), *Plegagnathus* cf. *nelsoni* Ethington et Furnish.

Во время полевых работ 2014—2015 гг. Е. С. Пономаренко были получены новые данные по составу и строению разрезов большекосьюнкой свиты с шамозитами. Так как шамозитовые ооиды чаще всего не отвечают иде-



ально округлым или овальным оолитами, они деформированы или трещиноваты в результате тектонических нарушений пород, мы используем более общее определение «ооиды», под которое подпадают как оолиты, так и микроконкреции, сферолиты и глобулы [21].

Объекты и методы исследований

Фактическим материалом для исследования являлись образцы пород с шамозитовыми ооидами и вмещающий их матрикс из средне- и верхнеордовикских разрезов на р. Илыч и ее притоке — р. Б. Косью на Северном Урале (рис. 1). Пробы для анализов отбирались с помощью тонких стоматологических сверл из ооидов (ядер, различных слоев), пограничных зон с вмещающей массой, а также из различных участков последней. Фазовый состав глинистой фракции породы с шамозитами определялся рентгендифракционным методом (Shimadzu XRD-6000, фильтрованное излучение $\text{CuK}\alpha$), выявившим преимущественно хлорит. Для изучения микроструктуры и химического состава минералов использовались оптическая микроскопия (компьютеризированный комплекс OLIMPUS BX51) и аналитическая СЭМ (JSM-6400 Jeol). Состав карбонатного углерода и кислорода, а также органического углерода анализировался методом изотопной масс-спектрометрии Delta V Advantage, погрешность определений не превышала 0.1 ‰ (1 σ). Значения $\delta^{13}\text{C}$ даны в промилле относительно стандарта PDB, $\delta^{18}\text{O}$ — стандарта SMOW. Все аналитические исследования проведены в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН.

Распространение ооидов по разрезам

Шамозитовые прослои встречаются в карбонатных разрезах Илыч-98 и БК-водопад в основании большекосьюнской свиты (рис. 1, А). Как уже отмечалось ранее [17], эти разрезы значительно отличаются по строению и составу пород. В разрезе Илыч-98 слои карбонатов с шамозитовыми ооидами залегают на известняках пелитоморфных песчаных шежимской свиты среднего ордовика (рис 2, б). Здесь прослои с ооидами мощностью от 30 до 50 см выявлены на трех уровнях большекосьюнской свиты в биокластовых, глинистых с биокластовым материалом (петельчатых) и аналогичных по составу крупнопетельчатых известняках. Содержание ооидов в таких горизонтах достигает по объему 15 %, размер ооидов колеблется от 0.1 до 3 мм. Единичные ооиды наблюдаются и выше по разрезу в биокластовых известняках. Завершается разрез рассматриваемой свиты рассланцованными биокластовыми известняками с крупными (до 5 см) мшанками.

На р. Б. Косью в разрезе БК-водопад большекосьюнская свита имеет более сложное строение, будучи подвержена тектоническим нарушениям (рис 1, С). Подстилающая шежимская свита представлена здесь пачками тонкослоистых песчаных биокластовых известняков мощностью 6.2 м и залегающей выше пачкой известняков пелитоморфных узловатых мощностью 17.4 м, слагающих уступ водопада. Прослой известняков с шамозитовыми ооидами, относящийся к большекосьюнской свите, залегает на эрозионной поверхности. Мощность этого прослоя различными авторами оценивалась в диапазоне от 10 см до 2 м, что, вероятно, обусловлено разной глубиной эрозионных карманов, заполняемых ооидами.

Выше по разрезу на протяжении 8 м вниз по р. Б. Косью (до участка «Ворота») отмечаются разрозненные выходы алевролитово-глинисто-известковых сланцев. Здесь обнажа-

ются сильно смятые породы верхней части шежимской и нижней части большекосьюнской свиты, что свидетельствует о повторении разреза с единым слоем железистых ооидов, как это и предполагал Б. Я. Дембовский (1992ф). Следует отметить, что из-за интенсивного проявления тектоники на рассматриваемом участке часть ооидов приобрела удлиненную и даже веретенообразную форму. По размеру они более крупные (2—6 см), чем в разрезе Илыч-98. В ядрах ооидов находятся обломки пород и отдельные членики криноидей, основная масса сложена зернистым кальцитом с единичными обломками створок остракод. Выше по разрезу большекосьюнской свиты залегает слой алевроито-глинисто-известковых сланцев и пелитоморфных известняков мощностью 11.3 м. В верхней части свиты мощностью 26 м в известняках присутствует обильный биокластовый и крупнопесчано-гравелитовый обломочный материал. Кроме того, здесь установлены обломки размером до 1 см неокатанного жильного кварца с волнистым погасанием и окатанные обломки размером до 0.5 см кварцитов, кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых сланцев.

Литолого-химическая характеристика

Исследуемые карбонатные породы с ооидами по валовому химическому и нормативно-минеральному составу (мол. %) являются сильноглинистыми известняками вплоть до мергелей (см. таблицу). Терригенная примесь в них имеет слюдисто-альбит-кварц-хлорит-шамозитовый состав. Содержание хлорит-шамозитовой компоненты (13—32 %) примерно соответствует насыщенности породы ооидами — от 10 до 30 %. По литохимическим модулям исследуемые породы являются супержелезистыми гидролизатами, но при этом заметно различаются по разрезам степенью ожелезнения и гидролизатности. Если в разрезе Илыч-98 получили развитие умеренно супержелезистые гипогидролизаты ($\text{ЖМ} = 0.70 \pm 0.05$; $\text{ГМ} = 0.58 \pm 0.02$), то в разрезе БК-порог присутствуют сильносупержелезистые нормогидролизаты ($\text{ЖМ} = 2.29 \pm 1.04$; $\text{ГМ} = 1.34 \pm 0.02$). По степени окисленности железа в породах разрезы тоже расходятся: в разрезе БК-порог она в три раза выше. Степень гидролиза, т. е. воздействие гипергенного выветривания осадочного вещества, разная: в разрезе Илыч-98 минимальная, в разрезе БК-водопад — большая. При сочетании гипогидролизатности и супержелезистости (разрез Илыч-98) шамозит содержит малую долю оксигидроксидов железа, а при наличии нормогидролизатности и супержелезистости (разрез БК-водопад) — большую. В шамозитах разреза БК-водопад сильное возрастание степени окисленности железа показывает близость к источнику сноса осадочного материала по сравнению с разрезом Илыч-98.

Распределение ооидов в породе резко неравномерное. Микроскопически они довольно часто могут выглядеть как удлиненные или изогнутые сфероиды без четкой зональности (рис. 2, с), в ядре которых присутствует материал вмещающей породы. Размеры ооидов колеблются от 0.5 до 6 мм, но могут превышать 2 см (тип микроконкреций). Число концентров в них изменяется от 2 до 30. Изучение под электронным микроскопом показало, что концентрическая оболочка имеет довольно сложный пирит-магнетит-кальцит-сидерит-шамозитовый и неоднородный минеральный состав (рис. 3, а). Установлено незначительное содержание углеродистого вещества ($\text{C}_{\text{орг}} = 0.18$ мас. %), которое наблюдается в виде пятен и примазок среди минеральных агрегатов в слоях и ядрах ооидов (рис. 3, б). Характерно

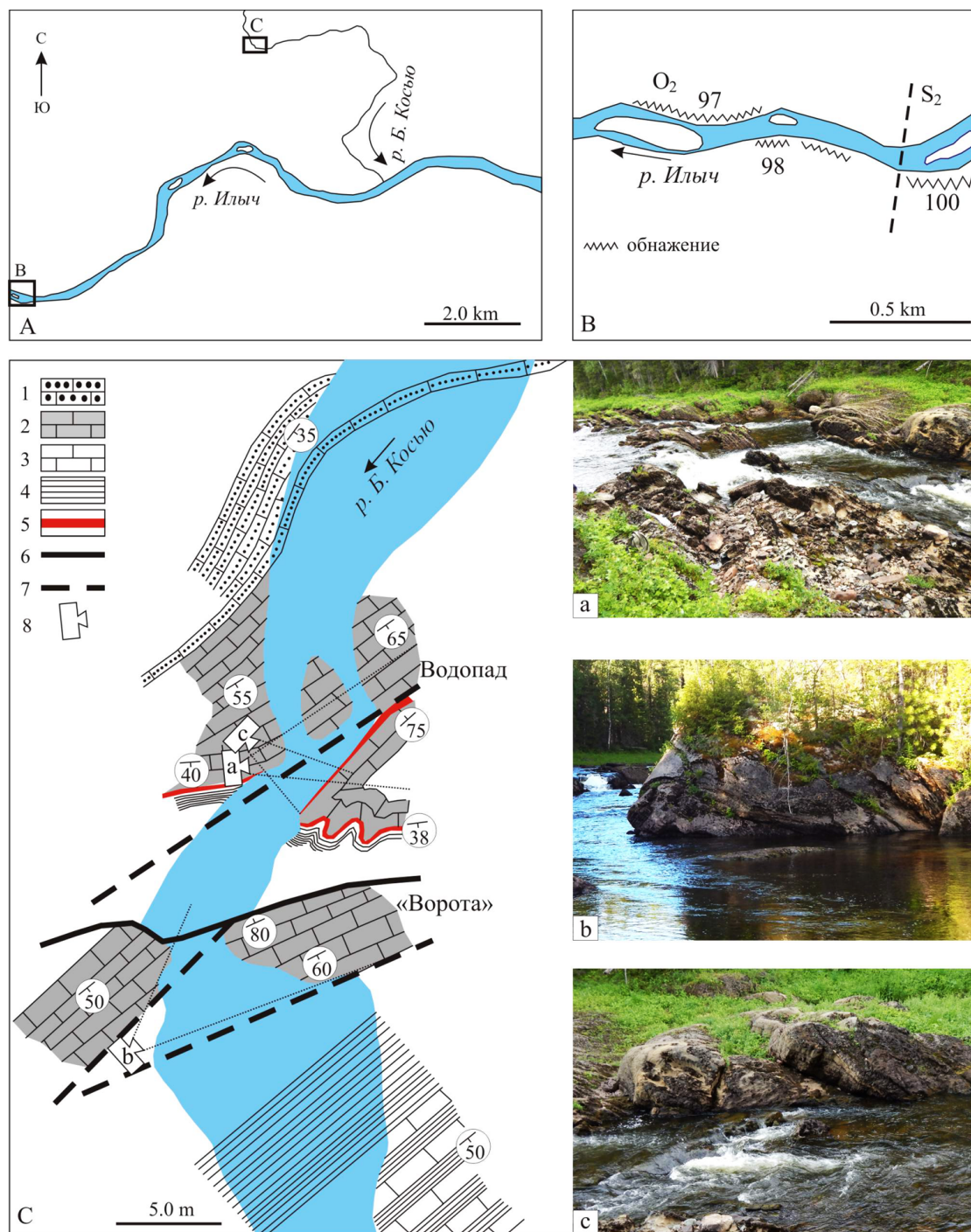


Рис. 1. Карта-схема бассейна р. Илыч с указанием местоположения изученных разрезов (А), разреза на р. Илыч, обн. 98 (В), разреза на р. Б. Косью в районе водопада и «Ворот» (С). На «В» цифрами обозначены обнажения ордовикских и силурийских пород на р. Илыч в 1 км выше устья р. Шежим, нумерация обнажений приведена по В. А. Варсанюфьевой [4]. Схема на «С» составлена с использованием материалов В. В. Юдина [15], Б. Я. Дембовского и др. [1992г]. Условные обозначения: 1–4 — известняки биокласто-вые песчанистые тонкослоистые (1), пелитоморфные узловатые (2), пелитоморфные с ходами илоедов (3), с шамозитовыми ооидами (4); 5 — сланцы алевроито-глинисто-известковые; 6, 7 — соответственно фактические и предполагаемые тектонические нарушения; 8 — точки и направление фотографирования (буквы внутри соответствуют снимкам). Изображения: а — водопад на р. Б. Косью, б — участок «Ворота» (видна антиклинальная складка, слагающая левый створ «ворот»), с — выходы слоев с шамозитовыми ооидами на левом берегу р. Б. Косью ниже водопада

Fig. 1. A schematic map of the Ilych River basin showing the location of the studied sections (A), the outcrops of Ordovician and Silurian rocks in the Ilych River (in 1.0 km upstream from the mouth of the Shezhym River, numbering of the outcrops are given in Varsanofieva V. A. [4]. The schema on «C» composed using materials of V.V. Yudin [15] and B.Ya. Dembowski [1992]. Section in the Ilych River, outcrop 98 (B), section in the Bol'shaya Kos'yu River in the waterfall and «Gate» area (C). In «B», the numbers indicate Legend: 1–4 — limestones: bioclastic sandy and thin-bedded (1), pelitomorphic knotty (2), pelitomorphic with trace fossils (3), with chamosite ooids (4); 5 — silt-clay-limestone shales; 6, 7 — respectively the actual and predicted tectonic faults; 8 — points and a direction of photographing (the letters correspond to the photos). Images: a waterfall in Bol'shaya Kos'yu River, b — «Gate» area, c — outcrops of beds with the chamosite ooids in the left bank of the Bol'shaya Kos'yu River below the waterfall

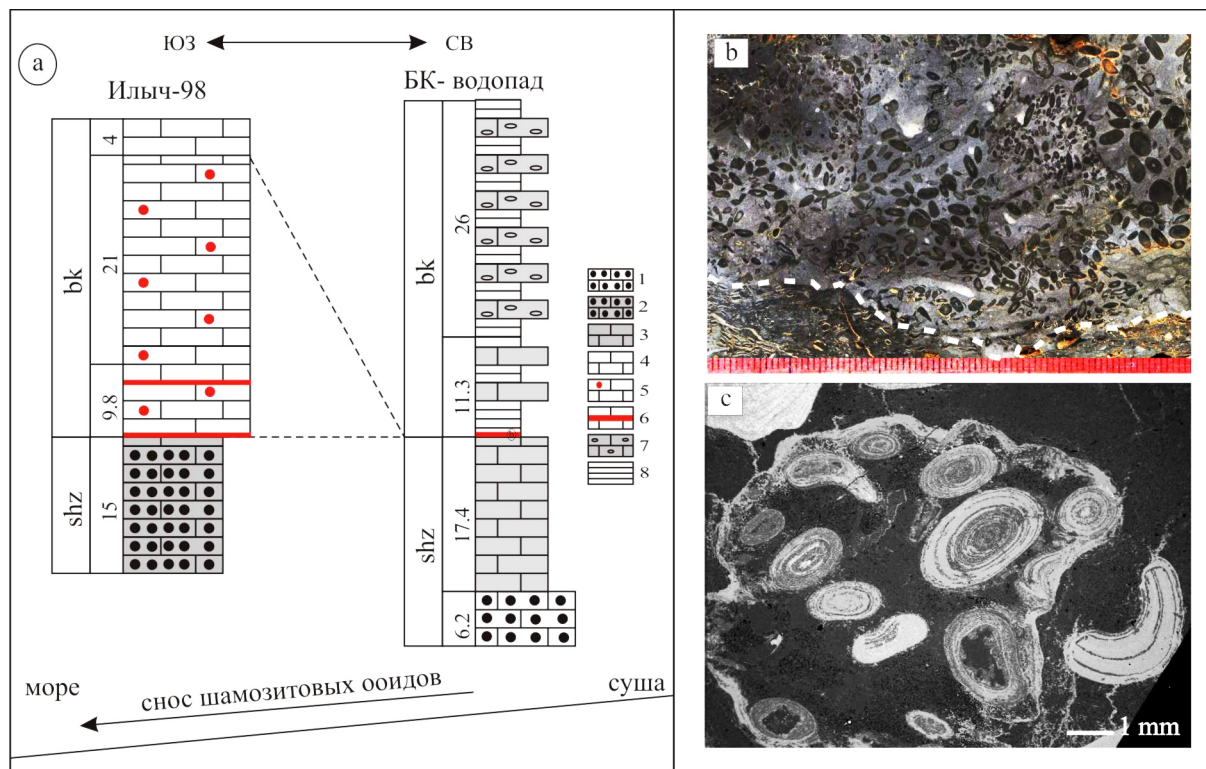


Рис. 2. Корреляция разрезов Илыч-98 и БК-водопад (а). Изображения: b — известняки пелитоморфные с крупными шамозитовыми ооидами, залегающие на эрозионной кровле шежимской свиты, шлифовка обр. БКВ23-2014, обн. БК-порог; c — обломок с мелкими шамозитовыми ооидами в биокластово-пелитоморфном известняке, шлиф обр. П-Ил98/8-2015, обн. Илыч-98. Условные обозначения: shz — шежимская свита; bk — большекосьюнская свита; 1—7 — известняки биокластовые песчанистые (1), пелитоморфные песчанистые (2), пелитоморфные (3), биокластовые (4), биокластовые с редкими шамозитовыми ооидами (5), с прослоями обильных шамозитовых ооидов (6), пелитоморфные с гравием жильного кварца и метаморфических пород (7); 8 — сланцы алевроито-глинисто-известковые

Fig. 2. Correlation of the section Ilych—98 and BK—waterfall (a). Images: b — pelitomorphic limestones with large chamosite ooids lying on a erosion surface of the Shezhym Fm, polished slab, sample БКВ/23—2014, the section BK—waterfall; c — a clast with small chamosite ooids in bioclastic–pelitomorphic limestone, thin-section, sample П-Ил98/8—2015, section Ilych-98. Legend: shz — the Shezhym Fm; bk — the Bol'shaya Kos'yu Fm; 1—7 — limestones: bioclastic sandy (1), pelitomorphic sandy (2), pelitomorphic (3), bioclastic (4), bioclastic with rare chamosite ooids (5), with layers of rich chamosite ooids (6), pelitomorphic with gravel of vein quartz and metamorphic rocks (7); 8 — silt-clay-limestone shales

присутствие в шамозите фрамбоидального пирита (рис. 3, d). Кроме того, в исследуемых ооидах обнаружены микроскопические кристаллы карбонатов (рис. 3, c), а также кальцит-баритовые выделения (рис. 3, g).

В микроструктуре ооидов отчетливо проявляются бактериоморфные структуры — скученные нанотрубочки (рис. 3, e), наноканалы на поверхности гликокаликса с повышенным содержанием Ti (рис. 3, f). Встречены также сноподобные агрегаты железистого состава (рис. 3, h), которые имеют морфологическое сходство с биоморфными индивидами гематита в железных рудах КМА [8, рис. 1, b] и так называемым биогематитом из железистых кор выветривания базальтов континентальных окраин восточной Азии и латеритных бокситов Южного Вьетнама [2, 3].

Минеральный состав ооидов и вмещающих пород

По данным минералогического исследования, в ооидах и вмещающей их массе присутствуют филлосиликаты, карбонаты, сульфиды, апатит, барит, гётит, гематит, гранат, лейкоксен, магнетит, пирит, рутил, турмалин, циркон. По данным рентгеноспектрального микрозондового анализа, основными минералами ооидов являются

широко варьирующий по химическому составу шамозит, диоктаэдрические слюды, Ca-Fe-карбонаты, магнетит, барит, апатит, пирит. Изредка встречаются циркон, рутил, халькопирит, сфалерит, Se-содержащий галенит.

Главный минерал в ооидах — шамозит — представляет собой 14А-филлосиликат со структурой хлоритового типа Т—О—Т [18]. Как известно, этот минерал часто встречается в латеритных железистых образованиях [4]. В данном случае он по составу может быть подразделен на три разновидности (в последовательности увеличения частоты встречаемости): 1) *обычную* — $(\text{Fe}_{1.22-4.59}\text{Mn}_{0-0.04}\text{Mg}_{0.29-1.45}\text{Ca}_{0-0.08}\times \text{K}_{0-0.23}\text{Al}_{0.08-0.8}\text{Ti}_{0-0.94})_5(\text{Al}_{0.35-1}\text{Ti}_{0-0.28})[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_{6.59-9.5}$; 2) *титанистую* — $(\text{Fe}_{2.27-4.72}\text{Mg}_{0.2-1.17}\text{Ca}_{0.04-0.03}\text{K}_{0-0.08}\times \text{Al}_{0-0.18}\text{Ti}_{0.21-1.04})_5(\text{Al}_{0-0.73}\text{Ti}_{0-0.48})[(\text{Al}_{0.52-1}\text{Ti}_{0-0.48})\times (\text{Si}_{1.47-2.26}\text{Ti}_{0.74-1.53})_3\text{O}_{10}](\text{OH})_{6.59-9.5}$; 3) *фосфатистую* — $(\text{Fe}_{2.53}\text{Mg}_{1.49}\text{Ca}_{0.24}\text{Al}_{0.7}\text{Ti}_{0.04})_5\text{Al}_{0.89}[\text{Al}(\text{Si}_{2.88}\text{P}_{0.12})\text{O}_{10}](\text{OH})_{8.49}$. Изредка в ооидах встречаются чешуйки слюды $\text{K}_{0.75-0.94}\times (\text{Al}_{1.29-1.65}\text{Fe}_{0.17-0.51}\text{Mg}_{0.11-0.18})_2[\text{Al}_{0.78-0.92}\text{Si}_{3.22-3.38}\times \text{O}_{10}](\text{OH})_{1.43-1.62}$. Судя по составу октаэдрических катионов и количеству ионов алюминия в тетраэдрической координации, установленную слюду можно определить как переходный мусковит-алюминоселадонит. Кроме того, в силикатах установлен циркон $(\text{Zr}_{0.99-1}\text{Hf}_{0-0.01})[\text{SiO}_4]$.

Химический и нормативно-минеральный состав пород, вмещающих ооиды

Chemical and normative-mineral composition of rocks enclosing ooids

Разрез / Section	Ильч-98 / Iluch-98		БК-порог / BK-rapids		
Проба Sample	98В/2*	98В/9*	ЮВ 51/7*	ЮВ 51/9*	БКВ 23-2014
Компонент Component					
1	2	3	4	5	6
Химический состав, мас. % / Chemical composition, mass. %					
SiO ₂	10.84	11.16	6.26	12.52	11.94
TiO ₂	0.30	0.38	0.12	0.22	0.39
Al ₂ O ₃	4.28	5.04	2.62	3.96	5.92
Fe ₂ O ₃	1.47	1.18	9.79	7.67	6.59
FeO	5.83	7.22	12.43	15.79	12.38
MnO	0.06	0.04	0.03	0.04	0.05
MgO	2.30	2.63	0.99	1.42	2.06
CaO	39.41	37.79	34.67	27.28	31.05
Na ₂ O	0.03	0.04	0.04	0.04	0.10
K ₂ O	0.21	0.37	0.09	0.24	0.10
P ₂ O ₅	0.36	0.35	0.62	0.55	0.21
CO ₃	29.44	29.36	28.64	24.16	24.09
H ₂ O	5.39	4.49	4.28	5.81	0.42
Литохимические модули / Lithochemical modules					
ГМ	0.56	0.59	2.0	0.95	1.08
ЖМ	0.66	0.73	3.48	1.84	1.54
ОМ	0.25	0.16	0.79	0.49	0.53
Нормативно-минеральный состав, мол. % / Normative mineral composition, mol. %					
Кварц / Quartz	3.89	2.71	1.6	5.49	1.28
Рутил / Rutile	0.21	0.26	0.09	0.02	0.27
Альбит / Albite	0.28	0.36	0.37	0.36	0.88
Хлорит / Chlorite (шамозит) / (chamosite)	17.41	19.88	12.62	22.45	31.24
Слюда / Mica	1.75	3.03	0.76	2.0	0.81
Апатит / Apatite	0.75	0.72	1.32	1.15	0.44
Карбонаты / Carbonatites	75.71	73.04	71.74	57.44	60.32
Гётит / Goethite	не опр. n/d	не опр. n/d	11.87	11.09	4.76

Примечание: * — данные проб [17] выделены серым цветом.

Note: * — data of samples from [17] are highlighted gray.

Кислородные соли в ооидах представлены фосфатами, сульфатами и карбонатами. Среди фосфатов наиболее распространен серосодержащий гидроксил-карбонат-апатит, состав которого можно охарактеризовать эмпирической формулой $\text{Ca}_{10}[\text{P}_{4.62-5.3}\text{S}_{0-0.17}\text{C}_{0.53-1.38}\text{O}_{24}]\times(\text{OH})_{0.62-1.64}$. Атомная пропорция Ca/P в этом минерале колеблется в пределах 1.85—2.16. Из полученных данных следует, что в рассматриваемом минерале фосфор изоморфно замещен на 0—2.8 % серой и на 8.8—23 % углеродом, а такой карбонатапатит преимущественно образуется в органических средах, являясь, как правило, биогенным производным. Именно такой апатит присутствует в костях животных, и причина появления карбонатапатита состоит в том, что через него осуществляется химическая связь с ОВ (белками) [7]. Из сульфатов наиболее надежно диагностирован Sr-содержащий барит состава $(\text{Ba}_{0.92-1}\times\text{Sr}_{0-0.08})[\text{SO}_4]$. Значительным разнообразием в исследуемых ооидах характеризуются карбонаты, которые к тому же являются здесь наряду с шамозитом основными по объему и массе минералами. Карбонаты ряда кальцит — сидерит группируются в два кластера. Первый кластер образуют железосодержащие кальциты состава $(\text{Ca}_{0.85-1}\text{Fe}_{0.01-0.15}\times\text{Mg}_{0-0.02})[\text{CO}_3]$, а во второй объединяются кальциево-маг-

нийсодержащие сидериты состава $(\text{Fe}_{0.90-0.98}\text{Mg}_{0-0.07}\times\text{Ca}_{0.02-0.06})[\text{CO}_3]$. В единичных случаях встречается кальцит, избыточно обогащенный железом — $(\text{Ca}_{0.65}\text{Fe}_{0.35})\times[\text{CO}_3]$, что указывает на незавершившийся процесс распада твердых растворов. В качестве незначительной примеси к карбонатам кальцит-сидеритового ряда выступает доломит состава $\text{Ca}(\text{Mg}_{0.97}\text{Fe}_{0.03})[\text{CO}_3]$. В целом проанализированные карбонаты можно с уверенностью отнести к незначительно преобразованным продуктам диагенетического минералообразования.

Из оксидов, помимо гетита, находящегося в тесной ассоциации с шамозитом, в ооидах выявлены рутил, Cr-V-содержащий ильменит $\text{Fe}_{0.98-1}(\text{Ti}_{0.91-0.97}\text{V}_{0-0.09}\text{Cr}_{0-0.01})_2\text{O}_3$ и магнетит состава $\text{Fe}(\text{Fe}_{1.40-2}\text{Ti}_{0-0.59}\text{V}_{0-0.03})_2\text{O}_4$. Минеральный состав последнего может быть представлен следующим образом (мол. %): магнетит $(\text{FeFe}_2\text{O}_4) = 69.8-100$; ульвит $(\text{Ti}_2\text{FeO}_4) = 0-29.4$; кулсонит $(\text{FeV}_2\text{O}_4) = 0-0.9$. Это свидетельствует о том, что в исследуемых ооидах магнетит по составу варьируется от собственно магнетита до ульвит-магнетита. В целом, судя по составу и локализации, ильменит и магнетит, скорее всего, являются обломочными минералами, источником которых являлись магматиты базальтоидного состава.

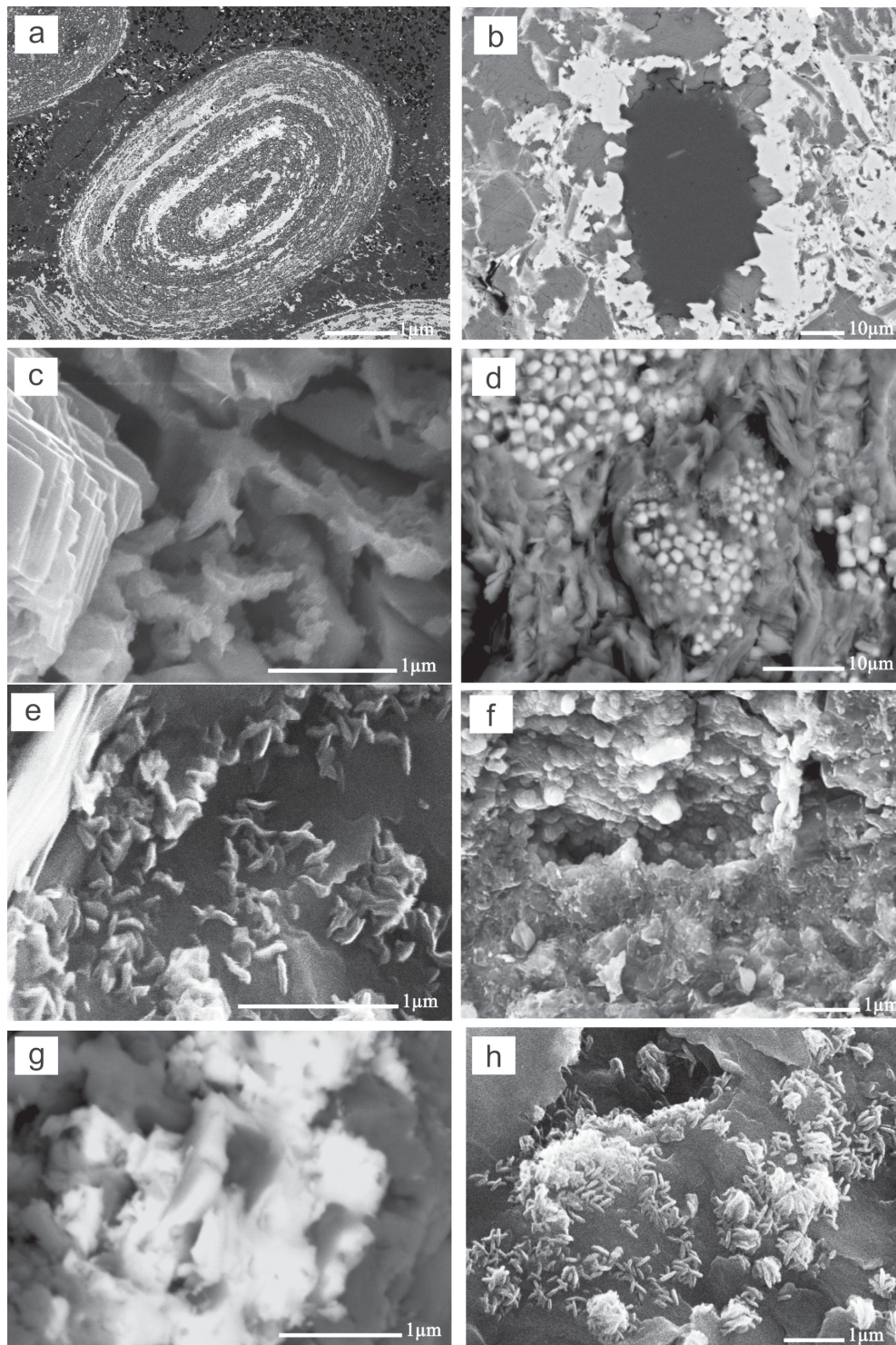


Рис. 3. СЭМ-изображения микроструктур шамозитовых стяжений в режимах упругоотраженных (а) и вторичных электронов (b–h): а — пример неравномерного распределения компонентов разного минерального состава в ооиде (обр. Ил-9-15-3); b — органическое вещество внутри ядра ооида кальцит-сидерит-шамозитового состава (обр. БК23-14-11); с — характер взаимоотношений крупного идиоморфного индивида кальцита (слева) и агрегата более мелких индивидов неправильной формы сидерита (справа); d — сегрегации микрофрамбOIDов пирита в шамозите (обр. БК23-14-18); e — нанотрубчатые бактериоморфы на поверхности слоя-ка минерализованной корки в шамозитовом слое с Ti+V+Ca (обр. 9-15-18); f — кокковидные бактериоморфы и гликокаликс с нанотрубчатыми бактериоморфами (обр. БК-23-14-0010); g — кальцит-баритовое выделение в шамозите (обр. БК-142A); h — агрегаты нанотрубчатых бактериоморф в минерализованной микробной корке (обр. Ил-9-15-16)

Fig. 3. SEM—images of chamosite ooids microstructures in the modes of elastic-reflected (a) and secondary (b–h) electrons: a — an example of irregular distribution of components of different mineral composition in ooids (sample II—9-15-3); b — organic matter inside a nucleus of calcite-siderite-chamosite ooid (sample БК23—14-11); c — a character of an individual large idiomorphic calcite (left) and aggregate of smaller irregular shaped siderite individuals (right) relationship; d — segregation of pyrite microframboids in chamosite (sample БК23—14-18); e — nanotubular bacteriomorphs on a mineralized biocrust surface in chamosite microlayer with Ti+V+Ca (sample II—9-15-18); f — coccoid and nanotubular bacteriomorphs in a glycocalyx (sample БК23—14-0010); g — a calcite-barite zone in chamosite (sample БК—142A); h — aggregates of nanotubular bacteriomorphs in mineralized microbial crust (sample II—9-15-16)

Важным компонентом ооидов являются сульфиды, представленные (в порядке частоты встречаемости) пиритом, пирротиним, халькопиритом, сфалеритом и Se-содержащим галенитом. Пирит наблюдается преимущественно во фрамбоидальных формах размером в десятки — сотни микрон. Как правило, он, подобно шамозиту, в значительной степени окислен, что сказывается на его составе: $(0.40\text{—}0.98)\text{FeS}_2 + (0.02\text{—}0.60)\text{FeO}(\text{OH})$. Пирротин встречается гораздо реже и при этом существенно варьируется по составу от практически моноклинного пирротина к троилиту: $\text{Fe}_{0.89}\text{—FeS}$. Зарегистрированный сфалерит тоже изменчив по составу и достигает существенно железистой разновидности: $(\text{Zn}_{0.78\text{—}0.92}\text{Fe}_{0.08\text{—}0.22})\text{S}$. Особенностью выявленного в ооидах галенита является присутствие в нем хотя и незначительной, но почти постоянной примеси селена: $\text{Pb}(\text{S}_{0.75\text{—}0.80}\text{Se}_{0.20\text{—}0.25})$. Эта примесь на порядок уступает содержанию селена в галените эндогенного происхождения [12, 13], но зато четко связывается с бактериальным фактором в экзогенном минералообразовании. В целом все сульфиды могут быть с большой вероятностью отнесены к аутигенным диагенетическим образованиям.

Изотопно-геохимическая характеристика

Нами также исследовался изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах пород и ооидов, а также органического углерода в ооидах. Установлено, что изотопный состав карбонатного углерода в ооидосодержащих породах колеблется в пределах $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = 0.6\text{—}0.9\text{‰}$, а карбонатного кислорода — в диапазоне $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 21.7\text{—}22.6\text{‰}$. В ооидах эти данные отличаются: $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -0.16\text{—}-2.86\text{‰}$ и $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 20.57\text{—}22.31\text{‰}$. Между значениями изотопных характеристик для углерода и кислорода обнаруживается сильная прямая корреляция ($r = 0.77$), что обычно свидетельствует о сходстве условий их формирования. Разница между изотопным составом органического и карбонатного углерода в породах с ооидами — $\Delta\delta^{13}\text{C} (= \delta^{13}\text{C}_{\text{карб}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{орг}})$ составляет $28.9\text{—}31.7\text{‰}$, что, по данным [23], говорит о значениях $\delta^{13}\text{C}$ как органического, так и неорганического, не претерпевших существенных постседиментационных изменений. Между вмещающей карбонатной породой и ооидами выявляется незначительная изотопная разница по углероду и близость по изотопии кислорода. Первое можно объяснить некоторым влиянием биоты при диагенезе, больше проявившимся в ооидах, а второе, очевидно, свидетельствует о единой среде образования ордовикских осадков и ооидов в них. Однако амплитуда углеродно-изотопного сдвига в породе составляет 0.3‰ , а в ооидах — 2.7‰ , что отражает существенно большее влияние биогенного фактора в формировании ооидов по сравнению с осадками, вмещающими их. Прямым указанием на участие организмов в образовании ооидов является присутствующее в них углеродистое вещество, в котором изотопный состав углерода составляет $\delta^{13}\text{C} = -28.72\text{‰}$, что, безусловно, отвечает углероду биогенного происхождения [13].

Судя по значениям изотопного состава кислорода, местом образования исследуемых ооидосодержащих осадков было морское побережье с умеренно опресненными водами вследствие континентального стока. Для сравнения можно привести пример плиоценовых железисто-оолитовых руд в месторождениях Керченского железорудного бассейна. По неопубликованным данным В. И. Силаева и В. П. Лютовой, аналогичные изотопные характеристики карбонатов составляют: $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = (-11.63 \pm$

$\pm 0.91)\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = (11.85 \pm 3.11)\text{‰}$. В этом случае значения изотопных данных тоже коррелируются, но не прямо, а обратно ($r = -0.61$). Очевидно, что керченские оолиты, в отличие от иличских, образовались в условиях лагун с сильно опресненными водами или даже пресноводных озёр, лишь периодически соединяющихся с морским побережьем. Сильное изотопное облегчение изотопного углерода в осадках такого рода объясняется гораздо большей интервенцией здесь биоты в зону седиментации и диагенеза осадков.

Обсуждение результатов

Наличие минерализованного гликокаликса и разнообразных бактериоморфных микроструктур, особенности минерального состава и изотопно-геохимические данные свидетельствуют об участии в образовании исследуемых ооидов бактерий. Преимущественно шамозитовый состав ооидов, обилие в них фрамбоидального пирита, гексапирротин-троилитовый состав моносulfидов, примесь селена в галените — все это указывает на развитие и активную жизнедеятельность бактерий в дефицитных по кислороду обстановках [22]. Как известно [20], в современных глинистых породах и илах образование фрамбоидального пирита обусловлено существованием эксинной обстановки в придонных водах и трактуется как результат пиритизации непосредственно нанобактерий. Изучение современных оксигидроксидов железа и фрамбоидального пирита на участках метановых высачиваний [27] показало, что именно активность сульфатредуцирующих бактерий в обстановках с низкой концентрацией кислорода обеспечивает условия для образования сульфидов железа.

Шамозитовый состав ооидов свидетельствует о значительной роли в раннедиагенетическом минералообразовании не только железных, но и силикатных бактерий, способных перерабатывать терригенный глинистый материал [1]. Присутствие в гликокаликсе Si, Al, K, Mg, Fe (рис. 4) говорит о тесной связи клеточных стенок в ОВ с окружающей средой [31], в данном случае с глинистой массой [9]. Такой микроэлементный состав в минерализованных биопленках говорит о силикатном составе гликокаликса, что является довольно типичным, особенно в мезозойских толщах [29]. Даже при формировании известковых ооидов в пресноводных бассейнах еще до кальцитизации происходит минерализация гликокаликса с образованием рентгеноаморфного магнезильного силиката [27]. Процессы биоиндуцируемой минерализации ферролитов различаются в зависимости от типа бактерий — железоокисляющих или железоредуцирующих. Образование современными железоокисляющими бактериями гётитовых оолитов и ферригидрид-шамозитовых руд происходит в сиповых системах [32]. В результате окисления ионов железа бактериогенные оксигидроксиды железа быстро осаждаются на бактериальные колонии, псевдоморфно замещают организмы, способствуя сохранению их морфологических особенностей [26].

При образовании средне- и верхнеордовикских шамозитовых ооидов реализовался другой биогеохимический сценарий. В этом случае процесс биостимулированной минерализации обуславливался не железоокисляющими, а железоредуцирующими бактериями, которые для обеспечения своей жизнедеятельности извлекали кислород из оксиджелезистых соединений. Именно микробиологическое восстановление железа и привело к образованию в условиях диагенеза шамозита и сидерита. Присутствие в

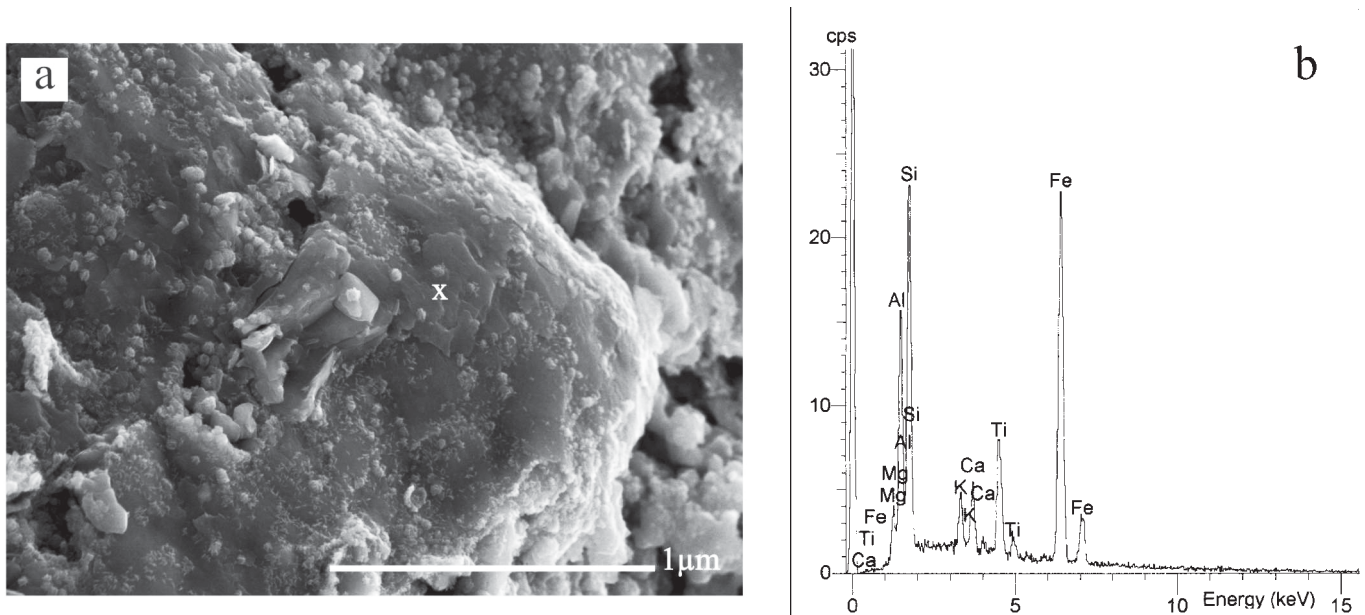


Рис. 4. СЭМ-изображение гликокаликса (a) и его ЭД-спектр (b)

Fig. 4. SEM-image of a glycolyx (a) and its ED-spectrum (b)

ооидах наряду с бактериоморфными структурами аутигенных Sr-содержащих кальцит-баритовых выделений, Se-содержащего галенита, сфалерита, галенита, халькопирита и пирротина — типичных гидротермальных минералов — может служить свидетельством придонного подтока металлоносных флюидов в осадки на стадии их диагенеза, изменявших химию вод и способствовавших возникновению обильных и разнообразных бактериальных сообществ. По данным [6], сейчас описано уже более 100 минералов, образование которых может быть связано с деятельностью микроорганизмов. В их число входят все указанные выше в ооидах нетипичные в осадочных породах минералы. Кварц, слюды, эпидот, гранаты, циркон и титановые минералы в породах и ооидах, как уже отмечалось выше, имеют терригенно-обломочное происхождение.

С геологической точки зрения образование глинистых карбонатов с шамозитовыми ооидами можно объяснить следующим образом. Согласно выводам наших предшественников [17], в соответствующее время вблизи области прибрежно-морской седиментации на суше располагались коры химического выветривания более древних пород, которые выступили одним из источников железа, поступавшего в морской бассейн. Так, в известняках большекосьюнской свиты разреза БК-водопад присутствуют многочисленные обломки размером 0.5—1.0 см жильного кварца, кварцитов, кварц-серицитовых и кварц-хлоритовых сланцев. О более мористой обстановке накопления отложений большекосьюнской свиты с несколькими горизонтами шамозитовых ооидов в разрезе Илыч-98 свидетельствует обильность в известняках фауны криноидей и мшанок. В разрезе БК-водопад с единичным и маломощным шамозит-ооидным прослоем типично морской фауны не найдено. Залегание большекосьюнской свиты в этом разрезе на эрозионной поверхности шежимской свиты, дефицит морской фауны и крупные размеры ооидов свидетельствуют о прибрежно-морских условиях и большей близости области осадкообразования к источнику сноса терригенного материала и стока химических соединений

с суши. Но факт того, что в таком разрезе имеется лишь один шамозит-ооидный горизонт небольшой мощности, залегающий к тому же в основании свиты на сильно эродированной поверхности, позволяет предполагать, что первоначально накапливающиеся вблизи береговой линии ооиды потом переотлагались вглубь бассейна, который как раз и характеризует разрез Илыч-98. Различия обстановок формирования этих разрезов подтверждается и отчетливым различием химических характеристик пород, вмещающих ооиды. По литохимическим модулям породы заметно различаются по разрезам степенью ожелезнения и гидролизатности. Исследуемые литологические объекты образовались за счет материала, претерпевшего на суше гидролитическое разложение в условиях химического выветривания. Степень такого изменения в разрезах различная — в прибрежных осадках разреза БК-водопад она была существенной (нормогидролизаты), а в более удаленных от береговой линии осадках разреза Илыч-98 — минимальной (гипогидролизаты). Супержелезистость пород обусловлена значительным содержанием в ооидах не только шамозита, но и оксигидроксидов железа. При этом в супержелезистых нормогидролизатах в разрезе БК-водопад содержание оксигидроксидов железа выше, чем в супержелезистых гипогидролизатах в разрезе Илыч-98. Именно поэтому в направлении от разреза Илыч-98 к разрезу БК-водопад в породах скачкообразно возрастает коэффициент окисленности железа. Это объясняется незначительной способностью оксигидроксидов к миграции, поэтому степень окисленности железа можно использовать в качестве индикатора близости осадочного материала к коренному его источнику — корам выветривания на суше. Установленные углеродно-изотопные и кислородно-изотопные значения в ооидах и вмещающей их породе имеют существенную прямую корреляцию ($r = 0.77$), что говорит о сходстве условий их формирования, а значения $\delta^{13}\text{C}$ (28.9—31.7 ‰) показывают, что $\delta^{13}\text{C}$ органического и неорганического исследуемых объектов не претерпел существенных постседиментационных изменений. Амплитуда колебаний значений $\delta^{13}\text{C}$ в ооидах и вмещающей их породе имеет тенденцию к увеличению в направлении от разреза Илыч-98 к разрезу БК-водопад, что может свидетельствовать о том, что в направлении от разреза Илыч-98 к разрезу БК-водопад увеличивается степень окисленности железа, что согласуется с данными о возрастании коэффициента окисленности железа в этом направлении.

литуда углеродно-изотопного сдвига в породе 0.3 ‰, а в ооидах 2.7 ‰ отражает существенно большее влияние биогенного фактора в формировании ооидов по сравнению с осадками, вмещающими их.

Образование средне- и верхнеордовикских сидерит-шамозитовых ооидов происходило, вероятнее всего, в морском бассейне с газофлюидными придонными высачиваниями, активной деятельностью сульфатредуцирующих бактерий, отвечающих за обилие фрамбоидального пирита. Изучение минералообразования в современных обстановках карбонатной седиментации в сочетании с метановыми высачиваниями, например вдоль подводных трещин в Кадисском заливе [25], показало, что именно активность сульфатредуцирующих бактерий и обеспечивает геохимические условия для осаждения сульфида железа в обстановках с относительно низкой концентрацией кислорода. Как подтверждается многочисленными примерами, шамозитовые ооиды накапливались в условиях длительного существования умеренного климата, обширных трансгрессий, тектонической стабильности, слабого поступления обломочного материала в мелкие моря на континентальных окраинах и т. д. [30]. В среднем ордовике и в начале позднеордовикской эпохи именно на современной территории севера Урала (южные приэкваториальные палеошироты 10–30°) господствовал гумидный климат [28], а на суше происходили процессы интенсивного химического выветривания с выносом железа в морской бассейн. Чередование шамозитовых и редуцированных сидеритовых слоев в стяжениях может указывать на смешение прибрежных сред в условиях развивающейся транзитной зоны континент — океан, образовавшейся при расширении Палеоуральского океана [11].

Заключение

Результаты проведенных литолого-минералого-геохимических исследований средне- и верхнеордовикских глинисто-карбонатных пород с шамозитовыми ооидами в разнофациальных разрезах большекосянской свиты в бассейне р. Илыч на Северном Урале позволяют сделать следующие выводы. Установлен преимущественно карбонатно-шамозитовый состав ооидов, в которых в качестве минеральных примесей выступает широкая ассоциация обломочных и аутигенных минералов — силикатов, кислородных солей, оксидов и сульфидов. Состав ооидов и ряд терригенных минералов, присутствующих в них, свидетельствуют о том, что в качестве источников материала для осадков служили имевшиеся на суше химические коры выветривания и эродировавшиеся выходы базальтоидов. Углеродно-изотопные и кислородно-изотопные значения вмещающей карбонатной породы и ооидов показали незначительную разницу по углероду и близость по кислороду. Влияние биогенного фактора при диагенезе более проявилось в ооидах, хотя среда образования осадков и ооидов в них была единой. Выявленные разнообразные бактериоморфные структуры, углеродистое вещество биогенного происхождения и разнообразие новообразованных минералов говорят об участии в образовании шамозитовых ооидов придонных газофлюидных высачиваний, приводивших к локальному сероводородному заражению, колебанию солёности, интенсивному развитию бактериальных сообществ и образованию диагенетических аутигенных биоминералов.

Исследования проведены в рамках программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 15-18-5-47.

Литература

1. Алексеева Т. В., Сапова Е. В., Герасименко Л. М., Алексеев А. О. Преобразование глинистых минералов под воздействием алкофильного цианобактериального сообщества // Микробиология. 2009. Т. 78. № 6. С. 816–825.
2. Биогенные наноминералы оксидов железа в корях выветривания базальтов континентальных окраин восточной Азии на примере Дальнего Востока России и Вьетнама. Статья 2. Гематит / В. М. Новиков, Н. С. Бортников, Н. М. Боева и др. // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 4. С. 23–30.
3. Биоминерализация, магнитные и термические свойства железистой конкреции месторождения латеритных бокситов Баолок в Южном Вьетнаме / Н. С. Бортников, В. М. Новиков, Т. С. Гендлер и др. // ДАН. Серия: Геохимия. 2011. Т. 441. № 6. С. 788–791.
4. Варсановьева В. А. Геологическое строение территории Печоро-Илычского государственного заповедника // Тр. Печоро-Илычского заповедника. 1940. Вып. 1. С. 5–214.
5. Вахрушев А. В., Лютов В. П., Силаев В. И. Кристаллохимические особенности железистых минералов в бокситах Вежаю-Ворыквинского месторождения (Средний Тиман) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 10. С. 14–18.
6. Ископаемые бактерии и другие микроорганизмы в земных породах и астроматериалах / Науч. ред. А. Ю. Розанов, Г. Т. Ушатинская. М.: ПИН РАН, 2011. 172 с.
7. Кораго А. А. Введение в биоминералогию. СПб.: Недра, 1992. 279 с.
8. Меркушова М. Ю., Жегалло Е. А. Биоморфные структуры в богатых железных рудах КМА (по результатам электронно-микроскопического исследования) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2016. № 2. С. 150–154.
9. Наймарк Е. Б., Ерошев-Шак В. А., Чижикова Н. П., Компанцева Е. И. Взаимодействие глинистых минералов с микроорганизмами: обзор экспериментальных данных // Журнал общей биологии, 2009. Т. 70. № 2. С. 155–167.
10. Постановление МСК и его постоянных комиссий / Ред. А. И. Жамойда. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. Вып. 38.
11. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2010. 280 с.
12. Сахарова М. С., Брызгалов И. А., Ряховская С. К. Минералогия селенидов в месторождениях вулканогенных поясов // Записки ВМО. 1993. Ч. 122. № 3. С. 1–9.
13. Силаев В. И., Хазов А. Ф. Изотопное диспропорционирование карбонатного углерода в процессах гипергенно-экзогенной перегруппировки вещества земной коры. Сыктывкар: Геопринт, 2003. 41 с.
14. Синдеева Н. Д. Минералогия, типы месторождений и основные черты геохимии селена и теллура. М., 1959. 254 с.
15. Юдин В. В. Варисциты Северного Урала. Л.: Наука, 1983. 174 с.
16. Юдович Я. Э., Юдин В. В., Шулепова А. Н., Хорошилова Л. А. Новые данные об оолитовых железных рудах в среднем ордовике Северного Урала // Литология и условия образования докембрийских и палеозойских отложений Урала. Екатеринбург: УНЦ АН СССР, 1981. С. 26–34.
17. Юдович Я. Э., Шулепова А. Н. Оолитовые руды железа в ордовикских известняках Печорского Урала // Геология и полезные ископаемые северо-востока европейской части СССР: Ежегодник-1972 ИГ Коми фил. АН СССР. Сыктывкар, 1973. С. 21–27.



18. Bailey S. W. Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals // *Am. Mineral.*, 1980. V. 65. P. 1—7.

19. Dzik J. Conodonts of the Mójca Limestone / *In*: J. Dzik, E. Olempska, A. Pisera. Ordovician carbonate platform ecosystem of the Holy Cross Mountains // *Palaeontologia Polonica*, 1994. V. 53. P. 43—128.

20. Halas S., Chlebowski R. Unique siderite occurrence in Baltic Sea: a clue to siderite-water oxygen isotope fractionation at low temperatures // *Geol. Quart.*, 2004. V. 48. № 4. P. 317—322.

21. Flügel E. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin: Heidelberg-Springer-Verlag, 2004. 976 p.

22. Folk R. L. Nannobacteria and the formation of framboidal pyrite // *J. Earth Syst. Sci.*, 2005. V. 114. No. 3. P. 369—374.

23. Knoll A.H., Kaufman A.J., Semikhatov M.A. The carbon isotopic composition of Proterozoic carbonates: Riphean succession from northwestern Siberia (Anabar Massif, Turukhansk Uplift) // *Amer. J. Sci.*, 1995. V. 295. No 7. P. 823—850.

24. Männik P., Viira V. Ordovician conodont diversity in the northern Baltic // *Estonian Journal of Earth Sciences*, 2012. V. 61. No1. P.1—14.

25. Merinero R., Lunar R., Martinez-Frias J., Somoza L., Diaz-del-Rio V. Iron oxyhydroxide and sulphide mineralization in hydrocarbon seep-related carbonate submarine chimneys, Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula) // *Marine and Petroleum Geology*, 2008. V. 25. P. 706—713.

26. Miot J., Benzerara K., Morin G., Kappler A., Bernard S., Obst M., Ferard C., Skouri-Panet F., Guigner J.-M., Posth N., Galvez M., Brown G. E. Jr., Guyot F. Iron biomineralization by anaerobic neutrophilic iron-oxidizing bacteria // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2009. V. 73. No 3. P. 696—711.

27. Paction V., Ariztegui D., Wacey D., Kilburn M. R., Rollion-Bard C., Farah R., Vascoucelos C. Going nano: A new step towards understanding the processes governing fresh water ooid formation // *Geology*, 2012. Vol. 40. no 6. P. 547—550.

28. Scotese C.R. Paleogeographic Atlas. Paleomap Project. Calgary, 2004.

29. Tomás S., Homann M., Mutti M., Amour F., Christ N., Immenhauser A., Agar S. M., Kabiri L. Alternation of microbial mounds and ooid shoals (Middle Jurassic, Morocco): Response to paleoenvironmental changes // *Sedimentary Geology*, 2013. V. 294. P. 68—82.

30. Van Houten F. B., Bhattacharyya D. P. Phanerozoic Oolitic Ironstones — Geologic Record and Facies Model // *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 1982. V. 10. №. 1. P. 441—457.

31. Vu B., Chen M., Russell J. Crawford R. J., Ivanova E. P. Bacterial Extracellular Polysaccharides Involved in Biofilm Formation // *Molecules*, 2009. V.14. P. 2535—2554.

32. Wu Z., Yuan L., Jia N. Wang Yu., Sun L. Microbial biomineralization of iron seepage water: Implication for the iron ores formation in intertidal zone of Zhoushan Archipelago, East China Sea // *Geochemical Journal*, 2009. V. 43. P. 167—177.

References

1. Alekseeva T. V., Sapova E. V., Gerasimenko L. M., Alekseev A. O. *Preobrazovanie glinistyh mineralov pod vozdeystviem alkofilnogo tsianobakterialnogo soobshchestva* (Transformation of clay minerals under influence of alkophilous cyanobacterial community). *Mikrobiologiya*, 2009, V. 78, No. 6, pp. 816—825.

2. *Biogennyye nanomineraly oksidov zheleza v korah vyvetrivaniya bazaltov kontinentalnykh okrain vostochnoi Azii na primere Dalnego Vostoka Rossii i Vetnama* (Biogenic nanominerals of iron oxides in weathering crusts of basalts of continen-

tal margins of eastern Asia on example of Russian Far East and Vietnam). Novikov V. M., Bortnikov N. S., Boeva N. M. et al. *Gematit* (hematite). *Vestnik VGU. Geologiya*, 2016, No. 4, pp. 23—30.

3. *Biomineralizatsiya, magnitnye i termicheskie svoystva zhelezistoi konkretzii mestorozhdeniya lateritnykh boksitov Baolok v Yuzhnom Vetname* (Biomineralization, magnetic and thermal features of ferrous concretion of Baolok deposit in South Vietnam). *Doklady Earth Sciences*. Bortnikov N. S., Novikov V. M., Gendler T. S. et al. *Geohimiya*, 2011, V. 441, No. 6, pp. 788—791.

4. Varsanofeva V.A. *Geologicheskoe stroenie territorii Pechoro-Ilychskogo gosudarstvennogo zapovednika* (Geological structure of Pechora-Ilych Reserve). *Trudy Pechoro-Ilychskogo zapovednika*, 1940, 1, pp. 5—214.

5. Vahrushev A. V., Lyutoev V. P., Silaev V. I. *Kristallohimicheskie osobennosti zhelezistyh mineralov v boksitah Vezhayu-Vorykvinskogo mestorozhdeniya (Srednii Timan)* (Crystal chemical features of ferrous minerals in bauxites of Vezhayu-Vorykva deposit (Middle Timan). *Vestnik of Institute of geology of Komi SC UB RAS*, 2012, No. 10, pp. 14—18.

6. *Iskopaemye bakterii i drugie mikroorganizmy v zemnykh porodakh i astromaterialakh* (Fossil bacteria and other microorganisms in Earth rocks and astromaterial). Eds A.Yu. Rozanov, G.T. Ushatinskaya Moscow: PIN RAN, 2011, 172 pp.

7. Korago A.A. *Vvedenie v biomineralogiyu* (Introduction to biomineralogy). St. Petersburg: Nedra, 1992, 279 pp.

8. Merkusheva M. Yu., Zhegallo E. A. *Biomorfnyye struktury v bogatyykh zheleznykh rudakh KMA (po rezul'tatam elektronno-mikroskopicheskogo issledovaniya)* (Biomorphous structures in Fe-rich ores (electronic microscopy). *Vestnik VGU. Geologiya*, 2016, No. 2, pp. 150—154.

9. Naimark E. B., Eroschev-Shak V. A., Chizhikova N. P., Kompantseva E. I. *Vzaimodeystvie glinistyh mineralov s mikroorganizmami: obzor eksperimentalnykh dannykh* (Interaction of clay minerals with microorganisms: review of experimental data). *Zhurnal obschei biologii*, 2009, V. 70, No. 2, pp. 155—167.

10. *Postanovlenie MSK i ego postoyannykh komissii* (Decision of stratigraphic commission and its commissions). Ed. A.I. Zhamoid. St. Petersburg: VSEGEI, 2008, 38.

11. Puchkov V. N. *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* (Geology of the Urals and Suburals (stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: Dizain Poligraf Servis, 2010, 280 pp.

12. Saharova M. S., Bryzgalov I. A., Ryahovskaya S. K. *Mineralogiya selenidov v mestorozhdeniyakh vulkanogennykh poyasov* (Mineralogy of selenides in deposits of volcanogenic belts). *Zapiski VMO*, 1993, Ch. 122, No. 3, pp. 1—9.

13. Silaev V.I., Hazov A.F. *Izotopnoe disproportsonirovanie karbonatnogo ugleroda v protsessakh gipergenno-ekzogennoi peregrupirovki veschestva zemnoi kory* (Isotope disproportioning of carbonate in processes of hypergene-exogenic regrouping of matter of earth crust). Syktyvkar: Geoprint, 2003, 41 pp.

14. Sindeeva N. D. *Mineralogiya, tipy mestorozhdenii i osnovnye cherty geohimii selena i tellura* (Mineralogy, types of deposits and basic features of geochemistry of selenium and tellurium). Moscow, 1959, 254 pp.

15. Yudin V. V. *Varistsidy Severnogo Urala* (Variscides of Northern Urals). Leningrad: Nauka, 1983, 174 pp.

16. Yudovich Ya. E., Yudin V. V., Shulepova A. N., Horoshilova L. A. *Novye dannyye ob oolitovykh zheleznykh rudakh v srednem ordovike Severnogo Urala* (New data on oolite iron ores in Middle Ordovician Northern Urals). *In: Litologiya i usloviya obrazovaniya dokembriiskikh i paleozoiskikh otlozhenii Urala* (Li-

thology and formation conditions of Precambrian and Paleozoic sediments of Urals). Ekaterinburg: AS USSR, 1981, pp. 26—34.

17. Yudovich Ya. E., Shulepova A. N. *Oolitovye rudy zheleza v ordovikskih izvestnyakh Pechorskogo Urala* (Oolite ores of iron in Ordovician limestones of Pechora Urals) In: *Geologiya i poleznye iskopaemye Severo-Vostoka Evropeiskoi chasti SSSR: Ezhegodnik-1972* (geology and mineral resources of North-East of European part of the USSR: Annual book-1972). AS USSR. Syktyvkar, 1973, pp. 21—27.

18. Bailey S. W. Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee on clay minerals. *Am. Mineral.*, 1980. V. 65. P. 1—7.

19. Dzik J. Conodonts of the Mójca Limestone. In: J. Dzik, E. Olempska, A. Pisera. Ordovician carbonate platform ecosystem of the Holy Cross Mountains. *Palaeontologia Polonica*, 1994. V. 53, pp. 43—128.

20. Halas S., Chlebowski R. Unique siderite occurrence in Baltic Sea: a clue to siderite-water oxygen isotope fractionation at low temperatures. *Geol. Quart.*, 2004, V. 48, No. 4, pp. 317—322.

21. Flügel E. Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application. Berlin: Heidelberg-Springer-Verlag, 2004, 976 p.

22. Folk R. L. Nannobacteria and the formation of fibrous pyrite. *J. Earth Syst. Sci.*, 2005, V. 114, No. 3, pp. 369—374.

23. Knoll A.H., Kaufman A.J., Semikhatov M.A. The carbon isotopic composition of Proterozoic carbonates: Riphean succession from northwestern Siberia (Anabar Massif, Turukhansk Uplift). *Amer. J. Sci.*, 1995, V. 295, No 7, pp. 823—850.

24. Männik P., Viira V. Ordovician conodont diversity in the northern Baltic. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 2012, V. 61, No.1, pp.114.

25. Merinero R., Lunar R., Martinez-Frias J., Somoza L., Diaz-del-Rio V. Iron oxyhydroxide and sulphide mineralization in hydrocarbon seep-related carbonate submarine chimneys, Gulf of Cadiz (SW Iberian Peninsula). *Marine and Petroleum Geology*, 2008, V. 25, pp. 706—713.

26. Miot J., Benzerara K., Morin G., Kappler A., Bernard S., Obst M., Ferard C., Skouri-Panet F., Guigner J.-M., Posth N., Galvez M., Brown G. E. Jr., Guyot F. Iron biomineralization by anaerobic neutrophilic iron-oxidizing bacteria. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2009, V. 73, No. 3, pp. 696—711.

27. Paction V., Ariztegui D., Wacey D., Kilburn M. R., Rollion-Bard C., Farah R., Vasconcelos C. Going nano: A new step towards understanding the processes governing fresh water ooid formation. *Geology*, 2012, Vol. 40, no. 6, pp. 547—550.

28. Scotese C.R. Paleogeographic Atlas. Paleomap Project. Calgary, 2004.

29. Tomás S., Homann M., Mutti M., Amour F., Christ N., Immenhauser A., Agar S. M., Kabiri L. Alternation of microbial mounds and ooid shoals (Middle Jurassic, Morocco): Response to paleoenvironmental changes. *Sedimentary Geology*, 2013, V. 294, pp. 68—82.

30. Van Houten F. B., Bhattacharyya D. P. Phanerozoic Oolitic Ironstones: Geologic Record and Facies Model. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 1982, V. 10, No. 1, pp. 441—457.

31. Vu B., Chen M., Russell J. Crawford R. J., Ivanova E. P. Bacterial Extracellular Polysaccharides Involved in Biofilm Formation. *Molecules*, 2009, V.14, pp. 2535—2554.

32. Wu Z., Yuan L., Jia N. Wang Yu., Sun L. Microbial biomineralization of iron seepage water: Implication for the iron ores formation in intertidal zone of Zhoushan Archipelago, East China Sea. *Geochemical Journal*, 2009, V. 43, pp. 167—177.



ЛОКАЛИЗАЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ПЕЧОРО-КОЛВИНСКОГО АВЛАКОГЕНА ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ И ИХ ПРОЯВЛЕНИЕ В РАДОНОВОМ ПОЛЕ

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

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
ezimova89@mail.ru; udoratin@geo.komisc.ru; asmagomedova@geo.komisc.ru

На основе интерпретации сейсмических данных была построена обновленная схема разломной тектоники Печоро-Колвинского авлакогена; изучены кинематика, морфология и проявление в поле радона глубинных тектонических нарушений. Результаты исследований показали, что дизъюнктивы характеризуются сложным внутренним строением, изменчивостью кинематики на разных участках как в продольном, так и в поперечном направлении. Разрывные нарушения западного борта авлакогена и Верхнепечорской впадины отчетливо проявляются в поле радона высокими значениями объемной активности радона.

Ключевые слова: авлакоген, разломы, кинематика, морфология, радоновая съемка.

LOCALIZATION OF TECTONIC DEFORMATIONS OF THE PECHORA-KOLVA AULAKOGEN ACCORDING TO SEISMIC DATA AND THEIR OCCURRENCE IN THE RADON FIELD

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

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The scheme of the fault tectonics of the Pechora-Kolva aulakogen was constructed on the basis of the interpretation of seismic data, an updated scheme of the fault tectonics of the Pechora-Kolvich aulakogen was constructed; kinematics, morphology and occurrence of deep tectonic deformation in the radon field were studied. The results of the research show that the faults are characterized by a complex internal structure, variability of kinematics at different sites, both in the longitudinal and transverse directions. The faults of the western side of the aulakogen and the Upper Pechora depression clearly occur in the radon field by high values of the volume radon activity.

Keywords: aulakogen, faults, kinematics, morphology, radon survey.

Введение

На основе исследований, проведенных в институте геологии Коми НЦ УрО РАН, установлено, что некоторые структуры Тимано-Печорской плиты, в частности Печоро-Колвинский авлакоген (ПКА), относятся к опасным в сейсмическом отношении регионам. Анализ комплекса геолого-геофизических данных по глубинному строению региона, дизъюнктивной тектонике, неотектонической активности и местоположению известных очагов землетрясений позволил выявить некоторые особенности размещения этих очагов [1]. Позднее по результатам комплексного исследования и по историческим данным о землетрясениях была построена схема сейсмического районирования Европейского Северо-Востока, где выделяются Кировско-Кажимская, Мезенско-Вашкинская и Припечорская зоны сейсмической активности [3]. В пределах последней ранее были зарегистрированы несколько землетрясений, возможные очаги (ВОЗ) которых приурочены к глубинным разломам западного борта Печоро-Колвинского авлакогена.

Выделение разломных зон на местности имеет существенное практическое значение для определения границ распространения связанных с ними землетрясений, а также рудопроявлений и месторождений углеводородов, поэтому цель нашего исследования заключается в построе-

нии детальной схемы разломной тектоники для территории Печоро-Колвинского авлакогена и близлежащих площадей. В соответствии с целью перед работой поставлены следующие задачи:

- 1) качественный пересмотр временных разрезов;
- 2) выделение и трассирование разрывных нарушений по материалам сейсморазведки;
- 3) проведение экспрессной эманацционной съемки радона-222 в пределах, выделенных авторами разломных зон.

Объекты исследований

Печоро-Колвинский авлакоген располагается в центральной части Печорской синеклизы. Административно его южная и центральная части находятся в Республике Коми, а северная — в Ненецком автономном округе. На западе авлакоген граничит с Ижма-Печорской впадиной, на востоке Колвинской системой разломов отделяется от Хорейверской впадины, на севере имеет общую границу с Северо-Печорской моноклиной. На юге ПКА граничит со структурами Предуральского краевого прогиба. По горизонтам осадочного чехла состоит из крупных инверсионных Печоро-Колвинского и Колвинского мегавалов и Денисовского прогиба. В пределах этих генетически связанных структур выделяются многочисленные средние и мелкие тектонические элементы [1].

Методы исследований

В 1980-х гг. вопросами тектоники Тимано-Печорской провинции и прилегающих территорий занимались Н. А. Тимонин, В. А. Дедеев, Н. А. Малышев, И. В. Запорожцева и др. В своих работах авторы обобщили материалы геофизических исследований, бурения и геологической съемки, составили тектоническую карту, где показаны все известные к тому времени структуры разных порядков, а также разломные зоны. В 1982 г. Н. А. Малышевым была составлена схема разломов Европейского Севера СССР, на которой в пределах авлагодена выделены следующие разломы: Припечорский, Илыч-Чикшинский, Шапкин-Седухинский и система Колвинских разломов [2].

Л. Т. Белякова, В. И. Богацкий, Б. П. Богданов и др. на основе интерпретации геофизического материала рассматривали особенности строения байкальского фундамента Тимано-Североуралья, а именно его блоковую и разломную тектонику, типы земной коры, этапы допалеозойского развития, районирование. В результате таких

исследований была построена структурно-тектоническая карта фундамента Тимано-Североуралья. На карте выделены Чаркаю-Пылеметский, Илыч-Чикшинский, Шапкина-Юрьяхинский, Подчерем-Каменский, Печорогородско-Переборский разломы, а также разломные зоны Колвинской системы [4]. Работы этих исследователей главным образом были направлены на изучение строения осадочного чехла и построение структурно-тектонических карт по различным стратиграфическим уровням, на основе которых были выделены площади, перспективные для поисков ловушек углеводородов в пределах Тимано-Печорской плиты и близлежащих районов.

В нашем исследовании для изучения тектонических нарушений ПКА за основу была взята карта, построенная Л. Т. Беляковой [4]. Задача заключалась в качественном анализе и интерпретации сейсмических данных, полученных нашими предшественниками. Для этого было просмотрено около 2000 временных разрезов (рис. 1), которые нам были предоставлены в территориальном фонде

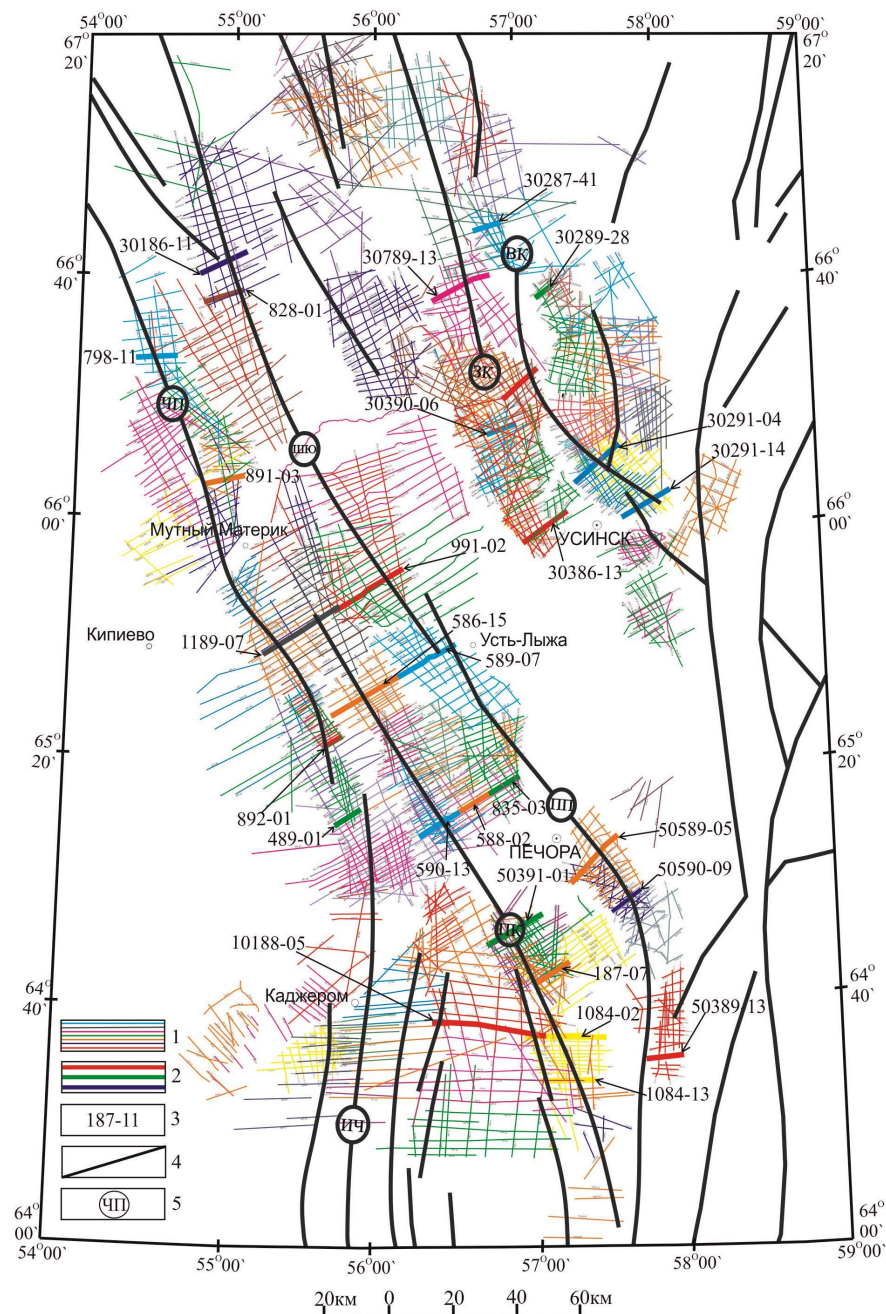


Рис. 1. Схема сейсмической изученности Печоро-Колвинского авлагодена (сост. В. В. Удоратин, Ю. Е. Езимова на основе материалов ОАО «Севергеофизика» с дополнениями): 1 — сейсмические профили; 2 — сейсмические профили, используемые в построении схемы изменения кинематики разломов; 3 — номера сейсморазведочных партий и профилей; 4 — разломы, выделенные Беляковой и др.; 5 — название разломов: ЧП — Чаркаю-Пылеметский, ШЮ — Шапкина-Юрьяхинский, ЗЛж — Западно-Лыжский, Лж — Лыжский, ВЛж — Восточно-Лыжский, ПК — Подчерем-Каменский, ПП — Печорогородско-Переборский, ВВ — Вуктыльско-Войвожский, ИЧ — Илыч-Чикшинский, ЗК — Западно-Колвинский, ВК — Восточно-Колвинский

Fig. 1. The scheme of seismic study of the Pechora-Kolva aulacogen (compiled by Udoratina, Ezimova, based on the materials of OAO «Severgeofizika» with additions): 1 — seismic profiles; 2 — seismic profiles used in the construction of a scheme for changing the kinematics of faults; 3 — numbers of seismic survey lots and profiles; 4 — faults identified by Belyakova et al.; 5 — the name of the faults: ЧП — Charkayu-Pylemetzky, ШЮ — Shapkina-Yuryakhinsky, ЗЛж — West Lyzhsky, Лж — Lyzhsky, ВЛж — East Lyzhsky, ПК — Podcherem-Kamensky, ПП — Pechorogorodsko-pereborsky, ВВ — Vuktylsko-Voyvovzhsky, ИЧ — Ilych-Chikshinsky, ЗК — West Kolvich, ВК — East Kolvich



информации по природным ресурсам и охране окружающей среды Республики Коми «Комигеолфонд». При анализе временных разрезов использовались такие критерии, как ширина зоны потери корреляции, временной интервал, динамическое состояние волнового поля, сопряженность отражений по краям зоны, наклон.

Результаты работ

В результате исследований было детализировано местоположение Чаркаю-Пылемецкого, Илыч-Чикшинского, Подчерем-Каменского, Печорогородско-Переборского, Западно-Колвинского и Восточно-Колвинского разломов. Разлом, который протягивается на западе от Подчерем-Каменского, был назван В. В. Удортинным Вуктыльско-Войвожским. На месте центральной и южной частей Шапкина-Юрьяхинского дизъюнктива авторами выделена Лыжская серия разломов, уточнена морфология и кинематика каждого нарушения.

Анализ временных разрезов показал, что Чаркаю-Пылемецкий, Шапкина-Юрьяхинский, Подчерем-Каменский и Колвинская система разломов обладают схожей кинематикой. Все они по фундаменту и нижним горизонтам осадочного чехла являются сбросами, а по вышележащим толщам становятся взбросами. **Чаркаю-Пылемецкий** дизъюнктив условно можно разделить на три блока. Северная часть по сейсмическим данным прослеживается до разновозрастного отражающего горизонта (ОГ), индексируемого в пределах Ижма-Печорской впадины как Б-А (J-T), а на территории прилегающего Печоро-Кожвинского мегавала как ОГ I-III (P-D). Центральный сегмент разлома нарушает осадочный чехол до горизонтов среднего девона. Далее на юг он постепенно затухает и выражается в рельефе лишь в виде флексуры и перегибов (рис. 2). **Шапкина-Юрьяхинский разлом** имеет схожую историю развития, представляет собой сброс по фундаменту и отложениям ордовика, переходит во взброс по

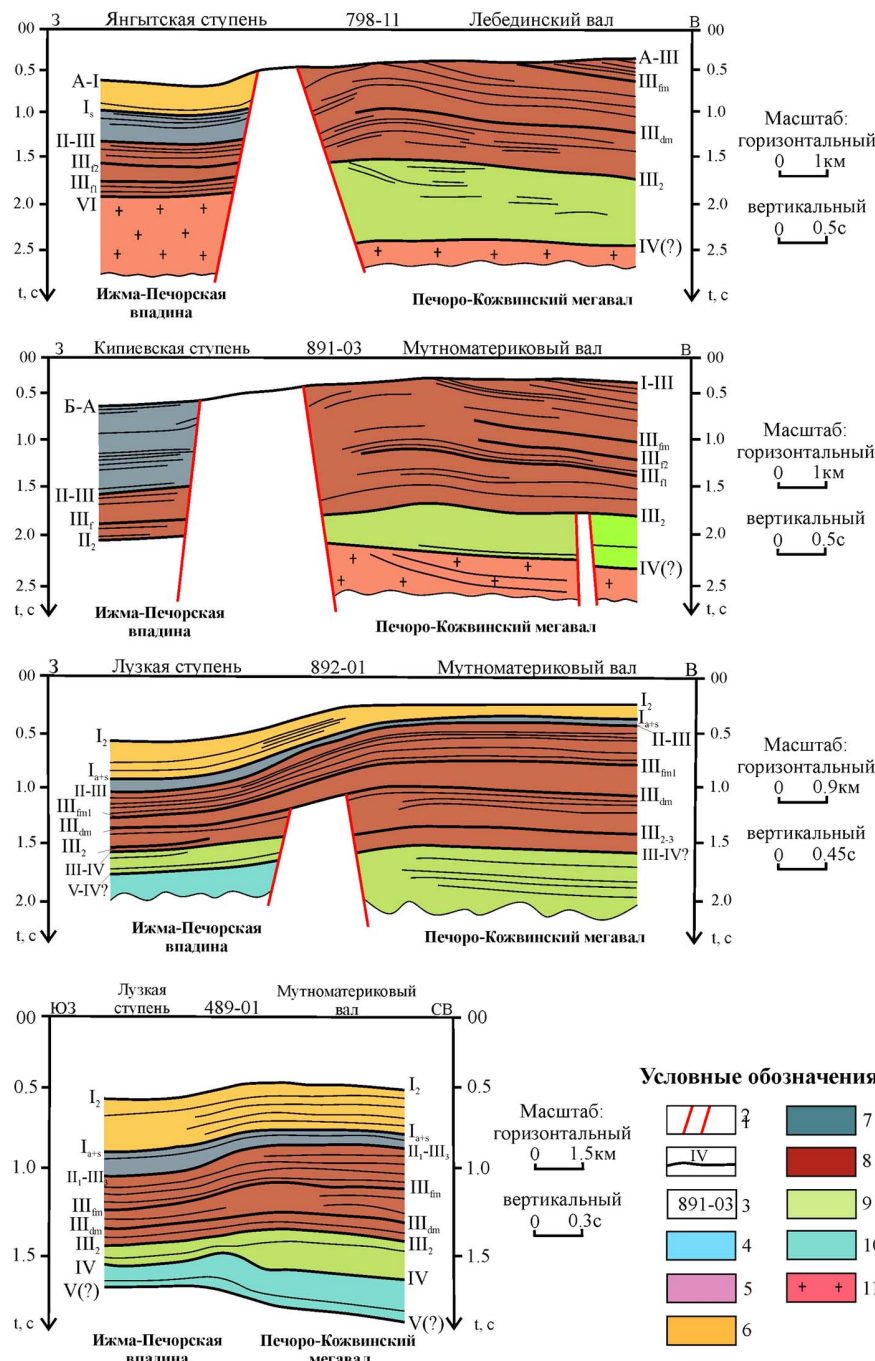


Рис. 2. Схема изменения кинематики Чаркаю-Пылемецкого разлома в продольном направлении с севера на юг (составила Ю. Е. Езимова по материалам ОАО «Севергеофизика»): 1 — зоны, связанные с тектоническими нарушениями, через которые невозможна или затруднительна корреляция отражающих горизонтов; 2 — отражающие горизонты; 3 — номер сейсмического профиля, возраст осадочных образований: 4 — юрский, 5 — триасовый, 6 — пермский, 7 — каменноугольный, 8 — девонский, 9 — силурийский, 10 — ордовикский, 11 — позднепротерозойский

Fig. 2. The scheme of the change in the kinematics Charka-Pylemetz fault in the longitudinal direction from the north to the south (compiled by Ezimova, based on the materials of ОАО Severgeofizika): 1 — zones associated with tectonic disturbances through which correlation of reflecting horizons is impossible or difficult; 2 — reflecting horizons; 3 — number of seismic profile, age of sedimentary formations: 4 — Jurassic, 5 — Triassic, 6 — Permian, 7 — Carboniferous, 8 — Devonian, 9 — Silurian, 10 — Ordovician, 11 — Late Proterozoic

верхним толщам чехла, сечет разрез до ОГ А (Т). По **Подчерем-Каменскому разлому** проходит граница авлакогена на юго-востоке. Северная часть разлома разделяет Печоро-Кожвинский мегавал и Верхнепечорскую впадину, а центральная и южная отделяют Верхнепечорскую впадину от Среднепечорского поперечного поднятия, которые входят в состав Предуральского краевого прогиба. Центральный сегмент наиболее сложный в тектоническом отношении, характеризуется сильной нарушенностью осадочного чехла. В этой области по временным разрезам выделено шесть зон, которые соответствуют тектоническим нарушениям взбросовой природы, четыре из них проходят через горизонты девона, карбона и перми. Колвинская система разломов ограничивает полуграбени и дизъюнктивные синклинали, погребенные под инверсионными структурами Колвинского мегавала [4]. **Западно-Колвинский дизъюнктив** прослеживается до ОГ III₂ (D₂), а на некоторых участках до I_{ar} (P_{1ar}) и I_{kz} (P_{2kz}). **Восточно-Колвинский разлом** юго-западного падения на всех участках затухает в отложениях нижней перми.

Лыжская серия разломов, состоящая из трех тектонических нарушений, выделена авторами в центральной части Печоро-Кожвинского мегавала. В северной части системы по временным разрезам наблюдается одна зона, связанная с тектоническим нарушением, которое отделя-

ет Печоро-Кожвинский мегавал от Денисовской впадины. По всем горизонтам осадочного чехла разлом относится к взбросу восточно-северо-восточного падения. Для центральной части Лыжской системы характерна сильная нарушенность осадочных пород, выделяются крупные Западно-Лыжский, Лыжский и Восточно-Лыжский тектонические разломы сбросового типа северо-восточного падения, проходящие через все осадочные образования чехла и более мелкие разломы. Такой характер сейсмического материала свидетельствует о достаточно сложном строении мегавала по низам осадочного чехла, обусловленном широким развитием зон нарушений в фундаменте. В южном направлении Лыжский и Восточно-Лыжский дизъюнктивы постепенно затухают и прослеживаются лишь до ОГ III_{fm} (D₃fm). Западно-Лыжский разлом изменяет свою кинематику и становится взбросом юго-западного падения, пересекая все слои осадочного чехла. Южная часть системы представлена Западно-Лыжским взбросом — Лыжским сбросом, между которыми выделяются еще несколько мелких разрывных нарушений (рис. 3).

Печорогородско-Переборский разлом на территории исследований делится на две части (рис. 4). В районе р. Печоры протрассировать нарушение не удалось из-за отсутствия сейсмических материалов. По временным разрезам прослеживается резкое погружение толщ девона,

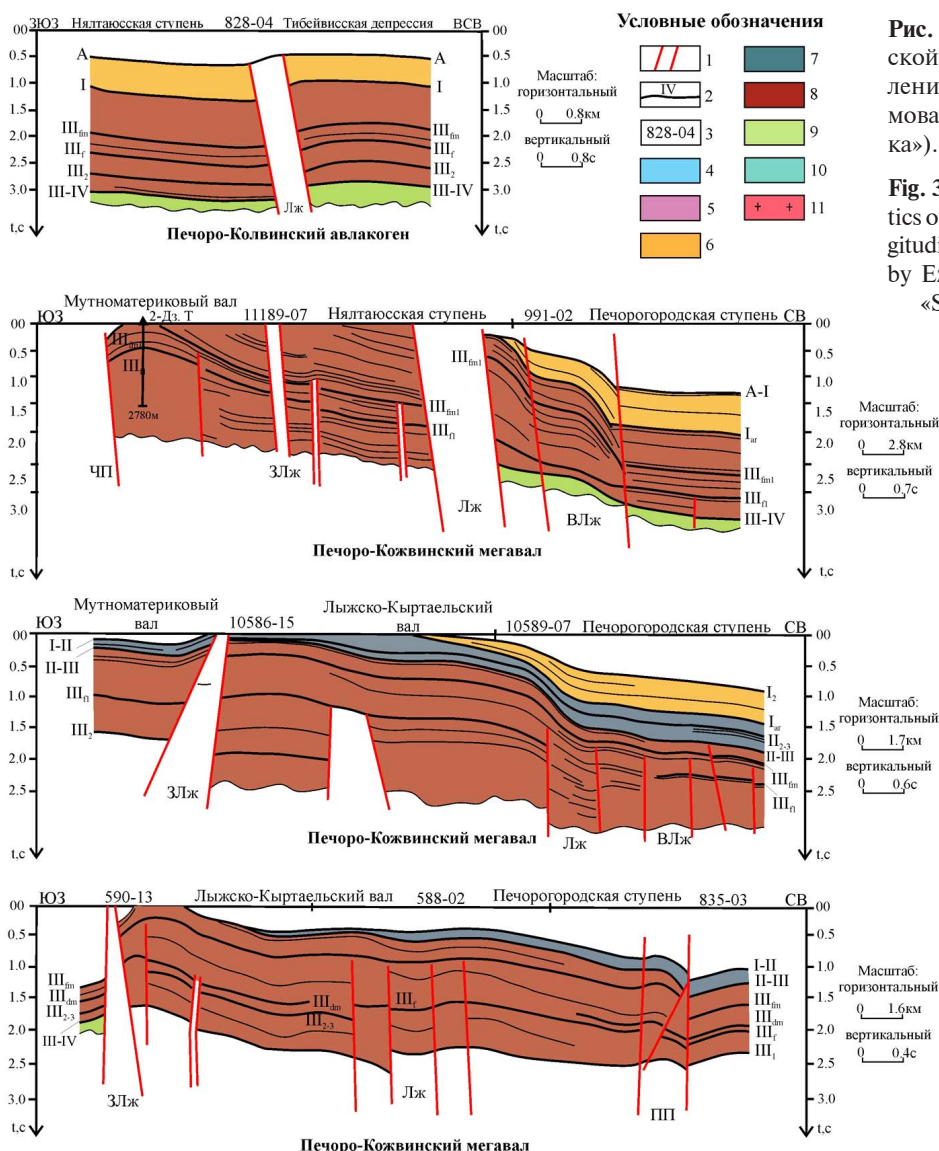


Рис. 3. Схема изменения кинематики Лыжской серии разломов в продольном направлении с севера на юг (составила Ю. Е. Езимова по материалам ОАО «Севергеофизика»). Условные обозначения — см. рис. 1, 2

Fig. 3. The scheme of the change in the kinematics of the series of the Lyzhskiy faults in the longitudinal direction from north to south (compiled by Ezimova, based on the materials of ОАО «Severgeofizika»). Legend see — Fig. 1, 2



карбона и перми в направлении Большесынинской впадины. На всем протяжении разлом представляет собой крутопадающий к юго-западу взброс, прорывающий все горизонты платформенного чехла. Авторы статьи предлагают изменить название разлома с Печорогородско-Переборского [4] на Печорский, потому что в плане (рис. 4) нарушение прослеживается вблизи р. Печоры, причем на некоторых участках точно повторяет изгибы реки.

Илыч-Чикшинская система разломов и Вуктыльско-Войвожский дизъюнктив принимали участие в формировании структур Верхнепечорской впадины. Как известно из отчетов сейсморазведочных партий «Севергеофизика», Илыч-Чикшинская зона краевых дислокаций состоит из двух ступеней: северной — Ронаельской и южной — Мичаю-Пашинской. В северной части, где разломы затухают до ОГ Π_{2-3} (D_{2-3}) и Π_{dm} (D_{3dm}), прослеживается ступенчатое погружение слоев в восточном направлении. В южной части нарушение платформенного чехла ограничивается ОГ I_{kz} (P_{2kz}). Вуктыльско-Войвожский разлом юго-восточного падения по морфологии относится к сбросу. От дизъюнктивных нарушений Печоро-Колвинского авлакогена его отличает малая глубина проникновения. По данным сейсморазведки, сместитель распространялся снизу вверх, затрагивая породы фундамента и нижние горизонты платформенного чехла.

Всем разломным зонам свойственны большие мощности девонских, в частности верхнедевонских отложений, что говорит об активизации тектонических движений в результате смены режима сжатия на растяжение в среднедевонскую эпоху. Результатом таких движений стало мощное осадконакопление в палеограбенах на территории будущего Печоро-Колвинского авлакогена.

По итогам качественного анализа временных разрезов была построена карта разломной тектоники фундамента Печоро-Колвинского авлакогена и прилегающих территорий. На схеме показаны для сравнения разломные зоны, выделенные ранее ООО «ТП НИЦ», и нарушения, выделенные авторами статьи по сейсмическим данным ОАО «Севергеофизика», а также пунктирной линией показаны предполагаемые тектонические нарушения субширотного простирания, по которым произошло смещение блоков авлакогена на восток-юго-восток. В результате таких подвижек Подчерем-Каменский разлом, по которому проходит граница авлакогена, сместился от Чаркаю-Пылемецкого дизъюнктива, Западно-Колвинский разлом был поделен на две части, центральный его сегмент также сместился на восток. Возможно, из-за таких подвижек тектонических блоков Восточно-Колвинский, Печорогородско-Переборский и Восточно-Лыжский разломы приобрели извилистую форму (рис. 4).

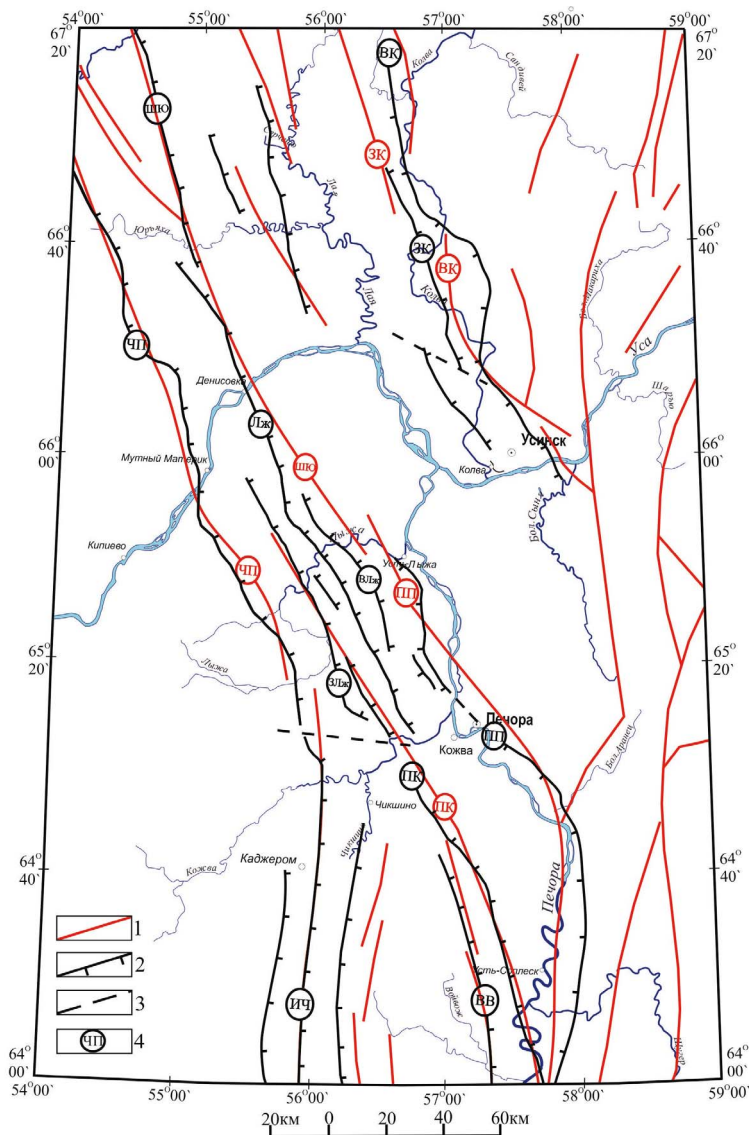


Рис. 4. Карта разломной тектоники фундамента Печоро-Колвинского авлакогена и прилегающих территорий (сост. В. В. Удоратин, Ю. Е. Езимова по материалам ОАО «Севергеофизика» на основе структурно-тектонической карты Тимано-Североуральского региона 1:2000000 масштаба [1]): 1 — разломы, выделенные Беляковой и др.; 2 — разломы, выделенные авторами статьи по сейсмическим материалам ОАО «Севергеофизика»; 3 — предполагаемые разломы; 4 — названия разломов (см. рис. 1)

Fig. 4. The map of the fault tectonics of the Pechora-Kolva aulacogen foundation and surrounding territories (compiled by Udoratin, Ezimova, based on the materials of OAO «Severgeofizika» on the basis of the structural-tectonic map of the Timan-Northern-Ural region 1:2000000 scale [1]): 1 — faults identified by Belyakova et al.; 2 — faults isolated from seismic materials of OAO Severgeofizika by the authors of the article; 3 — alleged faults; 4 — the name of the faults see Fig. 1

Радиометрические исследования

На следующем этапе исследований в течение двух полевых сезонов в пределах, выделенных авторами тектонических нарушений западного борта Печоро-Кожвинского авлакогена, где на сейсмических разрезах прослеживаются большие амплитуды вертикальных перемещений, проводилась экспрессная эманационная радоновая съемка с почвенного воздуха. Измерения объемной активности радона проводились при помощи портативного радиометра РРА-01М-01, предназначенного для экспрессных измерений объемной активности радона-222 на открытом воздухе, в воде и в почвенном воздухе. Диапазон измерения объемной активности радона-222 — от 20 до 2.0×10^4 Бк/м³. Предел допускаемой основной относительной погрешности: в диапазоне от 20 до 100 Бк/м³ — 30 %; в диапазоне от 100 до 2.0×10^4 Бк/м³ — 20 %.

В качестве эталонного участка был отработан профиль Тереховой — Лыжа пересекающий весь Печоро-Кожвинский мегавал в широтном направлении, общей длиной 100 км. Всего по профилю было отработано 29 точек наблюдения, расстояние между которыми 2—2.5 км. Для работы выбирался участок земли площадью 30 × 30 см, очищался от мусора, камней, растительности, затем выравнивалась поверхность или бурилась скважина. Исследования начинались не раньше чем через 20 минут после подготовки участка. Перед началом работы и после каж-

дого замера осушалась измерительная камера радиометра путем прокачки воздуха через патрон осушителя. Измерения ОАР проводились со скважины глубиной 50 см и диаметром 10 см. Время одного замера 30 минут. По результатам исследования был построен график изменения радоновой активности. Для детального сопоставления полученный график ОАР был совмещен со сводным сейсмогеологическим разрезом, составленным по отдельным профилям, расположенным наиболее близко к выполняемым исследованиям (рис. 5).

По результатам совмещения графика изменения ОАР и сейсмогеологического разреза получилось, что наибольшие значения радоновой активности соответствуют разломным зонам. Максимальные значения ОАР наблюдаются в пределах Мутноматерикового и Лыжско-Кыртаельского валов. Пики радоновой активности на графике (рис. 5) отвечают Чаркаю-Пылемецкому, Лыжскому и Восточно-Лыжскому разломам, где значения ОАР составляют 1098, 687 и 1555 Бк/м³ соответственно. Такая высокая радоновая активность связана с близостью разрывных нарушений к дневной поверхности. Так, Чаркаю-Пылемецкий разлом, разделяющий Ижма-Печорскую впадину и Печоро-Кожвинский мегавал, выходит на поверхность, Восточно-Лыжский дизъюнктив перекрыт маломощной толщей карбона, в то время как Лыжский разлом, где значения ОАР несколько ниже, перекрывается отложениями верхнего девона и

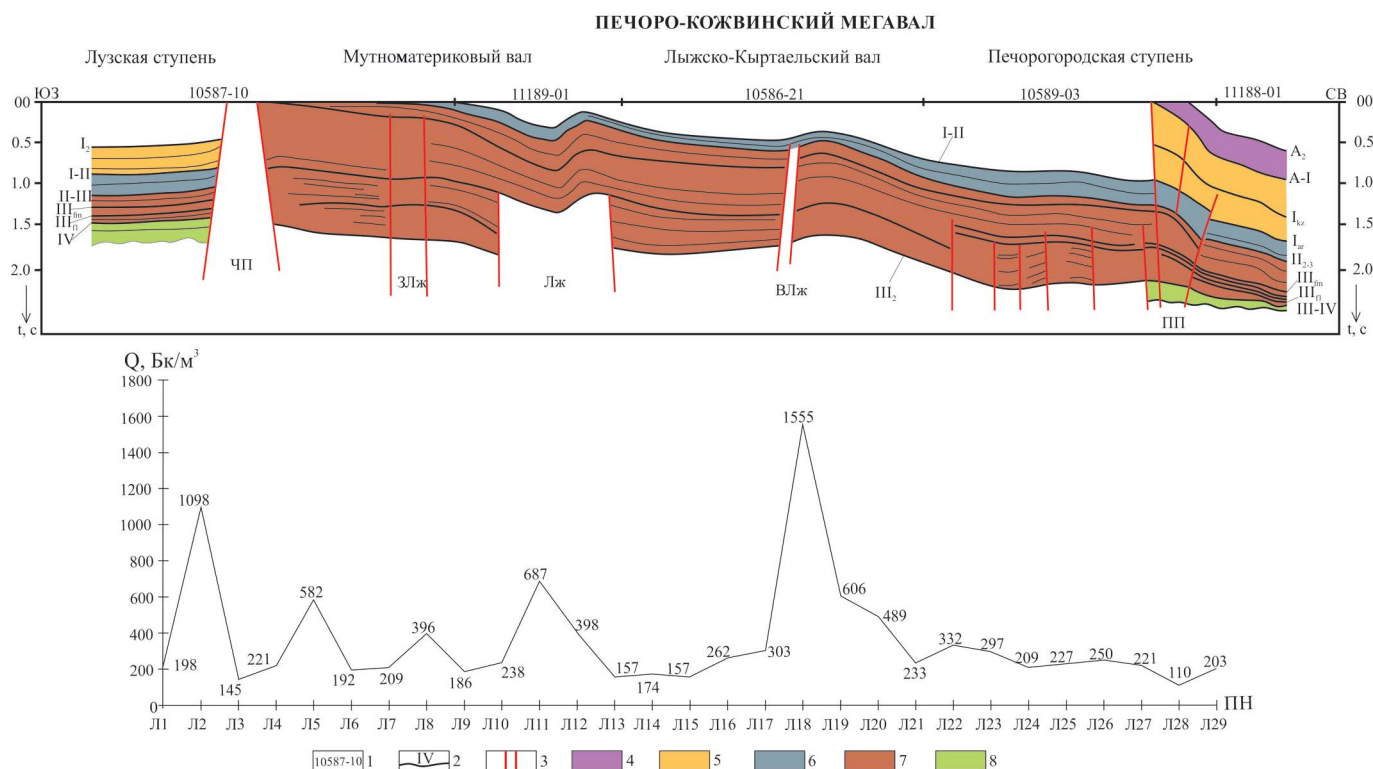


Рис. 5. График изменения ОАР в пределах Печоро-Кожвинского мегавала по профилю «Тереховой — Лыжа», совмещенный со сводным сейсмогеологическим разрезом (сост. Ю. Е. Езимова по материалам ОАО «Севергеофизика»): 1 — номер сейсмического профиля; 2 — отражающие горизонты; 3 — разломы, возраст отложений: 4 — триасовый, 5 — пермский, 6 — каменноугольный, 7 — девонский, 8 — силурийский. Обозначения разломов — см. рис. 1

Fig. 5. The graph of the volume radon activity in the Pechora-Kozhvin megaswell on the profile of «Terekhovey — Lyzha», combined with a composite seismogeological section (the consolidated seismogeological section was made by J. E. Ezimova on the materials of the ОАО «Severgeofizika»): 1 — seismic profile number; 2 — reflecting horizons; 3 — faults, age of sediments: 4 — Triassic, 5 — Permian, 6 — Carboniferous, 7 — Devonian, 8 — Silurian. See the names of the faults on Fig. 1.



карбона. На территории Печорогородской ступени, где трассируются многочисленные тектонические нарушения в осадочных образованиях девона, и Печорогородско-Переборского разлома, который сечет все горизонты платформенного чехла, значения радоновой активности заметно понижаются от 332 до 110 Бк/м³. Такие маленькие значения ОАР объясняются сильной раздробленностью всей структуры, вследствие чего газ рассеивается больше по площади, а до поверхности доходит лишь малая часть. Такие же радиометрические исследования выполнялись и на других участках Печоро-Кожвинского мегавала, а также в пределах Илыч-Чикшинской системы разломов, которая относится к Верхнепечорской впадине Предуральского краевого прогиба. Значения ОАР на участках изменяются от 200 до 1013 Бк/м³. Наименьшие значения радоновой активности зафиксированы на границе Печоро-Кожвинского мегавала и Большесынинской впадины (Печорогородско-Переборский разлом) 378—588 Бк/м³, а максимальные значения ОАР (792—1013 Бк/м³) отмечаются в зоне сочленения авлакогена и Верхнепечорской впадины (Подчерем-Каменский разлом).

Вывод

Итогом исследований является обновленная схема разломной тектоники, на которой уточнено местоположение Чаркаю-Пылемецкого, Илыч-Чикшинского, Вуктыльско-Войвожского, Шапкина-Юрьяхинского, Подчерем-Каменского, Печорогородско-Переборского разломов, а также разломных зон Колвинской системы, выделена Лыжская серия разломов.

По временным разрезам удалось проследить изменения кинематики тектонических нарушений в пределах осадочного чехла. Такие изменения связаны со сменами режимов сжатия и растяжения. В конце карбона — начале перми началась инверсия, которая охватила весь авлакоген и стала причиной формирования положительных структур в пределах Печоро-Кожвинского и Колвинского мегавалов, которые отчетливо прослеживаются на временных разрезах. С этими процессами связывается изменение кинематики разломных зон, которые принимали участие в формировании мегавалов на месте палеопрогибов. Так, **Чаркаю-Пылемецкий, Шапкина-Юрьяхинский, Подчерем-Каменский, Западно-Колвинский и Восточно-Колвинский** разломы по фундаменту и нижним толщам осадочного чехла являются сбросами, а по вышележащим горизонтам — взбросами, которые затухают на разных стратиграфических уровнях. **Восточно-Лыжский** дизъюнктив трассируется в продольном и поперечном направлениях как сброс, **Лыжский** и **Западно-Лыжский** характеризуются изменением морфологии на разных участках. **Печорогородско-Переборский** разлом прослеживается как взброс и по фундаменту, и по осадочному чехлу. **Илыч-Чикшинский** и **Вуктыльско-Войвожский** разломы сбросового типа участвовали в образовании структур Верхнепечорской впадины, которая находится в составе Предуральского краевого прогиба.

Результаты радиометрических исследований в пределах выделенных тектонических нарушений показали:

- 1) все разломные зоны отчетливо проявляются в поле радона;
- 2) вдоль линии разлома значения ОАР могут сильно изменяться;
- 3) ширина радоновой аномалии всегда больше ширины самой разломной зоны;
- 4) в пределах различных тектонических нарушений ОАР в почвенном воздухе находится в диапазоне 200—1555 Бк/м³, но при этом максимальные значения наблюдаются там, где разломы близко подходят к дневной поверхности и на границах структур первого порядка.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН № 15-18-5-11.

Литература

1. *Малышев Н. А.* Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов Европейского Севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 271 с.
2. *Структура* платформенного чехла Европейского Севера СССР / В. А. Дедеев, В. Г. Гецен, И. В. Запорожцева и др. Л.: Наука, 1982. 200 с. (АН СССР, Коми филиал, Ин-т геологии).
3. *Удоратин В. В., Мартышко П. С., Овчаренко А. В., Угрюмов И. А.* Сейсмичность европейской северо-восточной части России и методика для изучения ее природы // Вестник Института Коми НЦ УрО РАН. 2012. №10. С. 8—13.
4. *Фундамент* Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна / Л. Т. Белякова, В. И. Богацкий, Б. П. Богданов и др. Киров: Кировская областная типография, 2008. С. 288.

Reference

1. *Malyshev N. A. Tektonika, evoljutsija i neftegazonosnost osadochnyh basseynov evropeyskogo severa Rossii* (Tectonics, evolution and petroleum potential of sedimentary basins of the Russia European North). Ekaterinburg: UB RAS, 2002, 271 p.
2. *Stroenie platformennogo chehla Evropeyskogo Severa SSSR* (The structure of the platform cover of the European North of the USSR). Dedeev V. A., Getsen V. G., Zaporozhtseva I. V. et al. Leningrad: Nauka, 1982, 200 p.
3. *Udoratin V. V., Martysenko P. S., Ovcharenko A. V., Ugryumov I. A. Seysmichnost severo-vostochnoy chaste Rossii i metodika dlya izucheniya ee prirody* (Seismicity of the European north-eastern part of Russia and a technique for studying its nature). Vestnik Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, 2012, 8—12 pp.
4. *Fundament Timano-Pechorskoy plity neftegazonosnogo baseyna* (The basement of the Timan-Pechora oil and gas basin). Beljakova L. T., Bogatsky V. I., Bogdanov B. P. et al. Kirov: Kirovskaja oblastnaja tipografija, 2008, 288 p.

ВЫЯВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ УПРУГОЙ СИММЕТРИИ В ОБРАЗЦАХ АНИЗОТРОПНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

В. Л. Ильченко

Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты
vadim@geoksc.apatity.ru

Методом рентгеновской томографии исследованы два образца песчаников, ранее изученных методом акустопольярископии с определением типа упругой симметрии и пространственного положения элементов упругой симметрии пород. Сравнение результатов исследования показало пространственное совпадение ранее установленных элементов упругой симметрии с системной организацией неоднородностей (текстура, пористость, микротрещиноватость), которые легко визуализируются на рентгеновских томограммах.

Ключевые слова: рентгеновская томография, акустопольярископия, упругая анизотропия пород, упругая симметрия.

IDENTIFICATION OF ELASTIC SYMMETRY ELEMENTS IN ANISOTROPIC ROCK SAMPLES BY X-RAY TOMOGRAPHY

V. L. Ilchenko

Geological Institute of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Apatity

Two samples of sandstones were studied by means of X-ray tomography, which had been previously studied by acoustopolariscopic method with determination of spatial position of the elastic symmetry elements and type of elastic symmetry of rocks. Comparison of the obtained results showed the spatial coincidence of previously studied elements of elastic symmetry with the system organization of irregularities (texture, porosity, microfractures), easily visualized on X-ray tomograms.

Keywords: X-ray tomography, acoustopolariscopy, elastic anisotropy of rocks, elastic symmetry.

Введение

Упругая (сейсмическая) анизотропия разного ранга исследуется давно и разными методами, с вариациями используемых частот и длин волн. Признаки упругой анизотропии регионального масштаба (по скорости распространения сдвиговых волн в том числе) отражены в работе Г. В. Егоркина [3]. Для определения упругой анизотропии в образцах малого размера применяют акустопольярископию (акустопольяриметрию) [1] — метод ультразвукового неразрушающего анализа. Общая черта данных работ [1, 3] в том, что пространственные вариации (анизотропия) упругих свойств представляются в виде круговых диаграмм, это удобно для объёмного отражения систем тектонических нарушений.

В последнее время всё чаще появляются работы с использованием метода рентгеновской томографии (РТ) в геологии [7, 8]. Этот вид неразрушающего анализа применяют в разных областях исследований: в нефтяной геологии — для определения коллекторских свойств горных пород [5], в геомеханике и изучении дезинтеграции горных пород [2], микроструктурном анализе и др. [6, 8]. Если РТ позволяет фиксировать пространственное положение систем микротрещин, она может использоваться и для определения упругих параметров (в том числе анизотропии) горных пород.

Цель данной работы — оценить возможности метода рентгеновской томографии (РТ) в установлении прост-

ранственного положения элементов упругой симметрии (и анизотропии) горных пород путем сравнения результатов применения акустопольярископии и РТ к одним и тем же образцам.

Акустопольярископия

Акустопольярископия (акустопольяриметрия) как метод неразрушающего анализа изобретён в 1990 г. для поиска и определения пространственного положения дефектов (трещин) в различных твёрдых средах (натуральных и искусственных). Измерения проводят на образцах кубической формы с длиной ребра 25—45 мм. Для измерений используют ультразвуковой прибор — акустопольярископ (аналог поляризационного микроскопа, где вместо света используют поляризованный ультразвук, частота колебаний 1.25 МГц, длина волны $\lambda = 3$ мм) [1]. Источник ультразвука — серийный дефектоскоп (УД2-12). Измерения проводят: 1 — при скрещённых (ВС), 2 — при параллельных (ВП) векторах поляризации источника и приёмника сигнала в каждом направлении куба, при полном повороте образца с заданным шагом (здесь 10°), фиксируя амплитуду исходящего и принятого сигнала. По итогам измерений строят акустопольяриграммы (рис. 1). Подробности методики и формулы для вычисления опубликованы в 1990-м году [1] и позже [4]. Уникальная рабочая установка для акустопольярископии сейчас есть в Геологическом институте Кольского

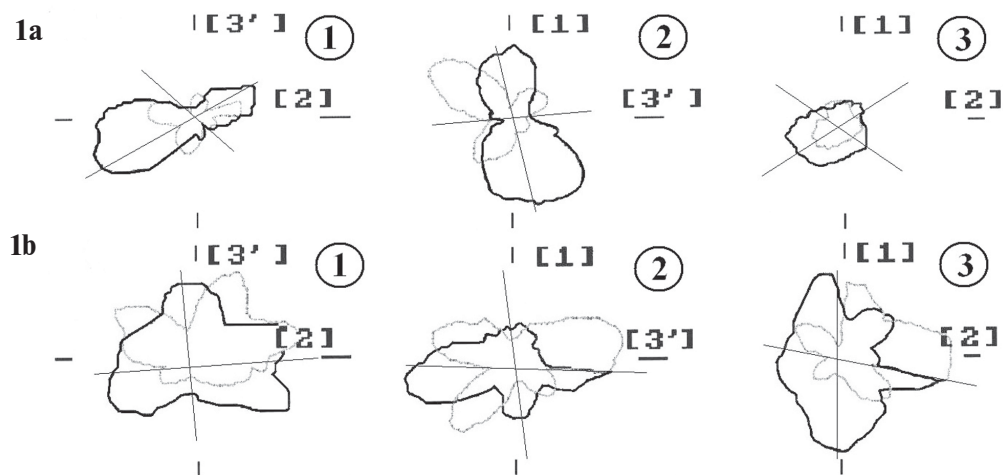


Рис. 1. Акустополяриграммы образцов (1а, 1б) песчаника из скважины Ленинградская-1 [4]: жирная чёрная кривая — ВП, серая — ВС; в кружках — направления прозвучивания, в квадратных скобках — номера граней (означают пространственное положение образца), скрещённые прямые линии — элементы упругой симметрии

Fig. 1. Acoustopolarigrams of samples (1a, 1b) of sandstone from the Leningradsкая-1 well [4]: a fat black curve — VP, gray — VS; In circles, the directions of sounding, in square brackets — the numbers of faces (mean the spatial position of the sample), crossed straight lines — elements of elastic symmetry

НЦ РАН (г. Апатиты, Мурманская обл.). От других установок для ультразвукового изучения горных пород, применяемых, например, в МГУ и ИГЕМ РАН, в акустополярикопе используются плоскополяризованные поперечные волны, позволяющие определять пространственное положение элементов упругой симметрии образцов (означающее в пространстве систему микротрещин).

Результаты акустополярикопии

Для сравнительного анализа акустополярикопии и рентгеновской томографии были использованы результаты работы по исследованию плотностных и упругих свойств (анизотропии) образцов керна из шельфовых отложений Карского моря (Ленинградская площадь), содержащих уникальные по запасам месторождения газа и газоконденсата [4]. На рисунке 1 представлены результаты акустополярикопии двух образцов аркозовых песчаников (1а, 1б) кубической формы с длиной ребра ≈ 30 мм.

Петрографическое описание образцов (в шлифах). Образец 1а: аркозовый песчаник с глауконитом, цвет зеленовато-серый, массивный, мелкозернистый, хорошо сортированный, зерна плохо окатаны, цемент пленочный глинистого состава с железнением (не $> 5\%$ объема). Минеральный состав обломков: кварц — 70% объема породы и полевой шпат — 30% объема, размер зёрен — 0.11 — 0.18 мм. Образец 1б: аркозовый песчаник с глауконитом (зерна 0.15 — 0.17 мм, не $> 5\%$ объема), мелкозернистый, цвет желтовато-серый, неяснослоистый, хорошо сортированный, зерна среднеокатаны, цемент пленочный (не $> 5\%$ объема) глинисто-железистого состава. Обломки составляют 90% породы. Минеральный состав обломков: кварц 60% , полевой шпат 40% , отдельные лейсты мусковита, размер зёрен — 0.14 — 0.18 мм.

Приведенные данные [4] показывают, что размер показателя упругой анизотропии (B, A_p) осадочных пород не зависит от плотности и состава; максимальные показатели анизотропии типичны для слоистых сред, понижаются в средах с неявной слоистостью. Низкую плотность (высо-

кую пористость) имеют слоистые песчаники с признаками диссимметрии в форме акустополяриграмм. Элементы упругой симметрии означают пространственное положение основных систем трещиноватости, а их несовпадение с текстурой пород (обр. 1а) предполагает кроме влияния литостатического давления участие бокового динамического воздействия (сдвиг с растяжением или сжатием).

Рентгеновская томография

РТ — метод неразрушающего анализа, используемый для изучения различных твердых тел — метод реконструкции (восстановления) и визуализации пространственного распределения величины линейного коэффициента ослабления (ЛКО) рентгеновского излучения в плоском слое исследуемого объекта в результате компьютерной математической обработки серии теневых проекций. Производительность метода РТ определяется конструкцией прибора и заданными параметрами сканирования, в т. ч. размером пикселя, шагом сканирования, усреднением по кадрам и др., которые задаются в соответствии со сложностью поставленной задачи. После компьютерной обработки по результатам томографии получают информацию о неоднородности и плотностных свойствах исследуемого объекта (как по всему объёму, так и в отдельных срезах). Структура порового пространства определяется системами трещин (микротрещин), которые определяют положение элементов упругой симметрии горных пород в акустополярикопии.

Результаты РТ

Сканирование проведено на микротомографе Skyscan-1172 (Bruker-microCT, Бельгия) в ресурсном центре «Геомодель» СПбГУ. Параметры сканирования: напряжение 100 кВ, ток 100 μ А, фильтр — Al+Cu, размер пикселя — 4.28 μ м, шаг вращения — 0.200 град., усреднение по кадрам — 4. Время сканирования ≈ 2.5 часа.

Измерения проведены на образцах кубической формы с длиной ребра ≈ 10 мм (1а, 1б), выпиленных из одно-

имённых кубиков, измеренных методом акустополарископии с сохранением ориентировки граней.

В результате томографического исследования (рис. 2) установлено расположение пор (черные точки) и присутствие сульфидов, скорее всего пирита (белые точки). Разная их концентрация объясняет разницу в плотности образцов 1а и 1б (см. таблицу). Все элементы упругой симметрии, нанесённые на акустополариграммах, на томограммах (направления 1 и 2) легко определяются (примерно на тех же местах и под теми же углами). Их местоположение совпадает со структурно-текстурными особенностями образцов (слоистостью и системой порового пространства — микротрещинами). На грани 3 элементы упругой симметрии четко не проявляются, что устраняется повторным сканированием образца с его вращением вокруг оси 1-1 или 2-2.

Заклучение

В результате сравнения данных, полученных методами акустополарископии и рентгеновской томографии (рис. 1, 2), показана возможность использования метода РТ для определения пространственного положения элементов упругой симметрии в образцах горных пород. Преимущество РТ помимо визуализации структурных неоднородностей исследуемого объекта и возможности получения трехмерного изображения состоит также в доступности метода для массового использования, т. к. необходимое оборудование для этих исследований сейчас есть в любом крупном научном центре коллективного пользования.

Работа выполнена с использованием оборудования ресурсного центра «Геомодель» научного парка Санкт-Петербургского государственного университета.

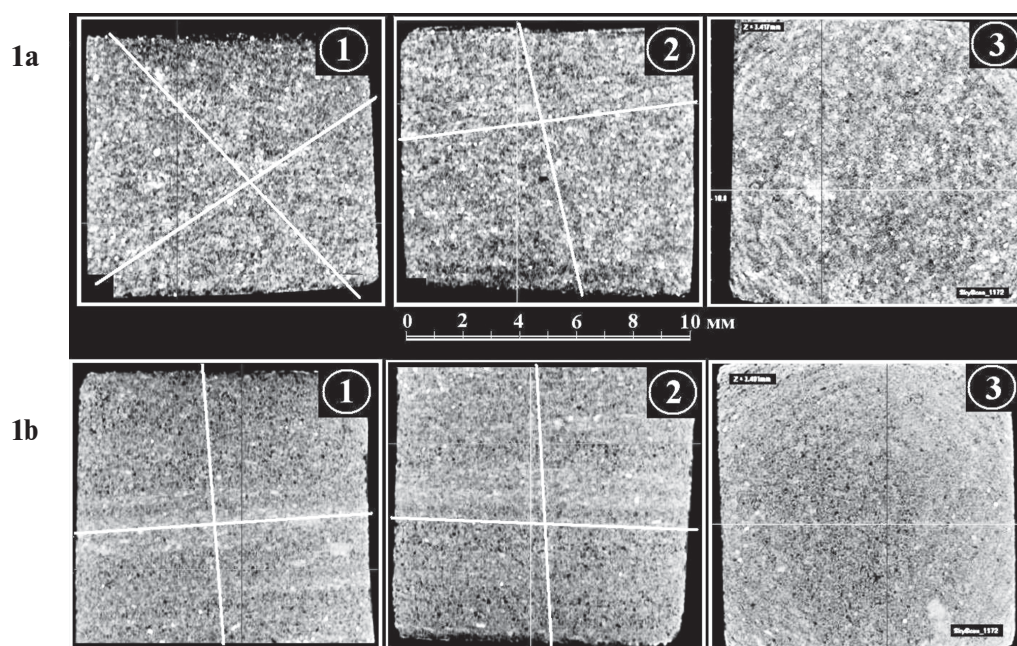


Рис. 2. Результаты томографии: элементы упругой симметрии нанесены на гранях 1 и 2 прямыми белыми линиями

Fig. 2. Results of microtomography: elements of elastic symmetry are plotted on faces 1 and 2 by straight white lines

Некоторые физические свойства песчаников (по [4])

Some physical features of sandstones (from [4])

№ образца Sample No.	Глубина, м Depth, m	Название породы Rocks	Квазиматрица скоростей, V_{ij} (км/с) Velocity quasimatrix	A/B, %	Плотность, г/см ³ Density	Углы α / Ψ , град. Angles, deg	*Тип упр. симм. Type of el. symm
1b	1701	Песчаник аркозовый, неяснослоистый Arcose, indistinctly laminated sandstone	1.934 1.304 1.346 1.453 2.183 1.378 1.271 1.279 1.798	<u>14.00</u> 6.20	1.99	<u>0</u> 0	T
1a	1873	Песчаник аркозовый, массивный Arcose, massive sandstone	2.651 1.780 1.758 1.784 2.685 1.479 1.477 1.506 0.955	<u>66.71</u> 18.43	2.32	<u>11</u> 20	T

*Тип упругой симметрии: Т — трансверсально-изотропный (псевдогексагональный).

*Type of elastic symmetry: T — transversal-isotropic (pseudo-hexagonal).



Литература

1. *Акустополариметрия* и определение упругой симметрии горных пород: Метод. реком. / Сост.: Ф. Ф. Горбачевич, В. В. Балаганский, Н. Г. Иванова; отв. редактор Н. В. Шаров. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1990. 84 с.
2. Вайсберг Л. А., Каменева Е. Е. Возможности компьютерной рентгеновской микротомографии при исследовании физико-механических свойств горных пород // Горный журнал. 2014. № 9. С. 85—90.
3. Егоркина Г. В. Трещиноватость верхней части земной коры по данным сейсмических исследований // Геотектоника. 1987. № 4. С. 115—121.
4. Ильченко В. Л., Чикирёв И. В. О некоторых физических свойствах меловых пород юго-западной части шельфа Карского моря // Литология и полезные ископаемые. 2009. № 4. С. 363—373.
5. Кривощёков С. Н., Кочнев А. А. Опыт применения рентгеновской компьютерной томографии для изучения свойств горных пород // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. № 6. С. 32—42.
6. Якушина О. А., Ожогина Е. Г., Хозяинов М. С. Рентгеновская вычислительная микротомография — неразрушающий метод структурного и фазового анализа // Мир измерений. 2003. № 10. С. 12—17.
7. Якушина О. А., Хозяинов М. С. Анализ возможностей рентгеновской томографии для петрофизических исследований керна нефтегазовых скважин // Каротажник. 2014. Т. 236. № 2. С. 107—121.
8. Veerle C., Boone M. High-resolution X-ray CT in geosciences: a review of the current technology and applications // Earth-Science Reviews. Elsevier. 2013. V. 123. P. 1—17.
9. F. F. Gorbatshevich, V. V. Balaganskii, N. G. Ivanova. Ed. N. V. Sharov. Apatity, 1990, KSC RAS, 84 pp.
10. Vaisberg L. A., Kameneva E. E. *Vozможности kompyuternoi rentgenovskoi mikrotomografii pri issledovanii fiziko-mekhanicheskikh svoystv gornyh porod* (Possibilities of computer microtomography at researches of physical and mechanical features of rocks). Gornyi zhurnal, 2014, No. 9, pp. 85—90.
11. Egorkina G. V. *Treschinovatost verkhnei chasti zemnoi kory po dannym seismicheskikh issledovaniy* (Fractionation of upper part of earth crust according to seismic researches). Geotektonika, 1987, No. 4, pp. 115—121.
12. Ilchenko V. L., Chikirev I. V. *O nekotorykh fizicheskikh svoystvakh melovykh porod yugo-zapadnoi chasti shelfa Karskogo morya* (Some physical features of Cretaceous rocks of southwestern part of Kara shelf). Litologiya i poleznye iskopaemye. 2009, No. 4, pp. 363—373.
13. Krivoschekov S. N., Kochnev A. A. *Opyt primeneniya rentgenovskoi kompyuternoi tomografii dlya izucheniya svoystv gornyh porod* (Experience of usage of x-ray computer tomography to study features of rocks). Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo. 2013, No. 6, pp. 32—42.
14. Yakushina O. A., Ozhogina E. G., Hozyainov M. S. *Rentgenovskaya vychislitelnaya mikrotomografiya — nerazrushayushchii metod strukturnogo i fazovogo analiza* (X-ray computer microtomography — non-destructing method of structural and phase analysis). Mir izmerenii. 2003, No. 10, pp. 12—17.
15. Yakushina O. A., Hozyainov M. S. *Analiz vozmozhnostei rentgenovskoi tomografii dlya petrofizicheskikh issledovaniy kerna neftegazovykh skvazhin* (Analysis of possibilities of x-ray tomography for petrophysical researches of oil borehole cores). Karotazhnik, 2014, V. 236, No. 2, pp. 107—121.
16. Veerle C., Boone M. High-resolution X-ray ST in geosciences: a review of the current technology and applications. Earth-Science Reviews. Elsevier, 2013, V. 123, pp. 1—17.

References

1. *Akustopolaryimetriya i opredelenie uprugoi simmetrii gornyh porod. (Metodicheskie rekomendatsii)* (Acoustic polarimetry and determination of elastic symmetry of rocks (Methodical recom-

ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ КОМИ

Н. Н. Тимонина¹, М. Б. Тарбаев²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар; nntimonina@geo.komisc.ru

²Департамент по недропользованию по Северо-Западному федеральному округу, Сыктывкар;
komy@rosnedra.gov.ru

Газовая промышленность играет важную роль в экономике Республики Коми. В текущем году исполняется 50 лет ведущему предприятию газовой отрасли республики — ООО «Газпром трансгаз Ухта». Вместе с тем современное состояние сырьевой базы природного газа характеризуется ее крайним истощением. Увеличение добычи газа может быть осуществлено за счет ввода в эксплуатацию новых месторождений и увеличения прироста разведанных запасов. Объекты, опосредованное которыми может дать соответствующий эффект, в пределах разведанных нефтегазоносных районов отсутствуют. Существенный прирост запасов и стабилизация объемов добычи газа возможны только за счет ввода в поисковое бурение новых газоносных районов и более эффективного использования растворенного газа.

Ключевые слова: сырьевая база, газоносность, газоконденсат, запасы, магистральный газопровод.

START-UP, PRESENT SITUATION AND PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF GAS INDUSTRY IN KOMI REPUBLIC

N. N. Timonina¹, M. B. Tarbaev²

¹Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Department for Subsoil Use of the North-Western Federal District, Syktyvkar

The gas industry plays an important role in the economy of the Komi Republic. This year marks 50 years of leading enterprise of the gas industry of the Republic — «Gazprom transgaz Ukhta». Along with this, the current state of raw material base of natural gas is characterized by its extreme depletion. The increase in gas production can be achieved by commissioning of new deposits and increasing the growth of proven reserves. The objects of prospecting there, which can give the corresponding effect, within proven oil and gas areas are not available. Significant increase in reserves and stabilization of production volumes of natural gas is only possible by the input of new gas-bearing areas in drilling and more efficient use of dissolved gas.

Keywords: raw materials base, gas presence, condensate, reserves, gas pipeline.

Введение

Газовая промышленность играет важную роль в экономике Республики Коми. Однако сырьевая база газодобывающей отрасли в последние годы практически не восполняется. Это связано как со значительной степенью выработки запасов (до 80 %) на эксплуатируемых месторождениях, так и с отсутствием фонда новых месторождений газа, подготовленных к разработке. С 1985 года прирост запасов газа не восполняет его добычу. Увеличение добычи газа может быть осуществлено за счет ввода в эксплуатацию новых месторождений и увеличения прироста разведанных запасов. Вместе с тем объекты, опосредованное которыми может дать соответствующий эффект, в пределах разведанных нефтегазоносных районов отсутствуют. Поэтому решение этой задачи возможно только за счет поискового бурения в новых газоносных районах. Некоторые исследователи довольно высоко оценивают эффективность поисковых работ на газ и полагают ее более высокой, чем на нефть.

История становления газовой отрасли

Первое крупное месторождение на Европейском Севере России было открыто 4 июня 1935 г. при разведке на нефть, неподалеку от деревни Крутая, где из скважины № 1 забил газовый фонтан, положивший начало откры-

тию Седельского месторождения природного газа [6]. Из-за отсутствия технологий освоения газовых месторождений промышленную разработку не удалось начать в то время, скважина была законсервирована. Промышленное освоение этого месторождения началось лишь в 1943 г. Седельское месторождение находилось в разработке до 1974 г., было добыто 2.8 млрд куб. м газа. Месторождение сыграло огромную роль как в истории Коми края, так и в создании самой мощной современной газовой отрасли России. В 1941 г. появился первый в стране Крутянский газовый промысел, построили первый газопровод в северных условиях диаметром 325 мм и протяженностью 12 км, открыли первый сажевый завод. Технический углерод (или сажа), который получали при сжигании газа, служил сырьем для химической, шинной и резинотехнической промышленности. В ноябре 1941 г. завод выдал свою первую продукцию, а уже через два года поставлял половину всей общесоюзной выработки технической сажи и обеспечивал оборонные предприятия страны в годы Великой Отечественной войны [1]. За годы производства выросло в Сосногорский газоперерабатывающий завод (СГПЗ). Первенец отечественной газопереработки, он входил в состав предприятий, преемником которых с 1967-го до мая 2007 г. было ООО «Газпром трансгаз Ухта», а после — ООО «Газпром переработка».



В 1943 г. было открыто Войвожское газовое месторождение, в последующие годы был выявлен ряд новых газовых и газонефтяных месторождений — Нибельское, Нямедское, Верхнеомринское, Кушкодское, Нижнеомринское и Северо-Седельское [2].

В 1946 г. началось строительство первого в мире надземного газопровода на деревянных опорах Войвож—Ухта—Ярега и Войвож—Сосногорск. Через два года он был пущен в эксплуатацию и проработал без аварий около полутора проектных сроков. 40—50-е гг. ознаменовались открытием целого ряда месторождений углеводородов, именно в тот период наша республика стала одним из ведущих нефтегазоносных районов Советского Союза.

Уже к 1960 г. на территории республики было выявлено 11 газовых и газоконденсатных месторождений. 20 октября 1964 г. открыто Вуктыльское газоконденсатное месторождение, которое в то время было крупнейшим в стране (рис. 1, 2). К тому времени Ямал еще не начали осваивать. Именно с открытия Вуктыльского газоконденсатного месторождения в 60-х гг. началось интенсивное формирование газотранспортной системы севера европейской части России.

21 августа 1967 г. приказом Мингазпрома СССР № 397 в Ухте было организовано газопромысловое управление «Комигазпром», созданное для освоения Вуктыль-

ского месторождения и строительства газопровода Вуктыль—Ухта—Торжок. С этого управления началась деятельность предприятия по добыче, переработке и транспортировке газа «Севергазпром». В 1993 г. оно было преобразовано в дочернее предприятие РАО «Газпром», а с июля 1999 г. — в специализированную газотранспортную компанию ООО «Севергазпром».

После ввода в эксплуатацию первой очереди газопровода Вуктыль—Ухта—Торжок газ Вуктыля получили металлурги Череповца. В 1975 г. по этому же коридору проложили газовые магистрали из Тюменской области, с этого началась эксплуатация магистрального многониточного газопровода «Сияние Севера» (рис. 3).

В 1976 г. в Ухту по газопроводу Пунга—Вуктыль—Ухта пришел первый сибирский газ. В этом же году на мысе Харасавэй высадили первый десант газовиков — появилась пионерная база по освоению газовых месторождений полуострова Ямал. За время работы сделано было немало, а главное — накоплен бесценный опыт работы в арктических условиях. Вскоре сверхзатратный проект пришлось приостановить, несмотря на открытие Бованенковского газоконденсатного месторождения, которое по запасам природного газа вошло в первую тройку в России (после Уренгоя и Ямбурга) и мировую пятёрку. Только 12 июня 1986 г. было решено вновь к нему вернуться. Летом 1986 г.



Рис. 1. Вуктыль. Буровая (из архивов ООО «Газпром трансгаз Ухта»)

Fig. 1. Vuktyl. Derrick (Archives of ООО «Gazprom transgas Ukhta»)



Рис. 2. Вуктыль. 1968 год. Вертолет Ми-6 доставил новоселов и стройматериалы (из архивов ООО «Газпром трансгаз Ухта»)

Fig. 2. Vuktyl. 1968. Mi-6 helicopter brought new settlers and building materials (Archives of ООО «Gazprom transgas Ukhta»)

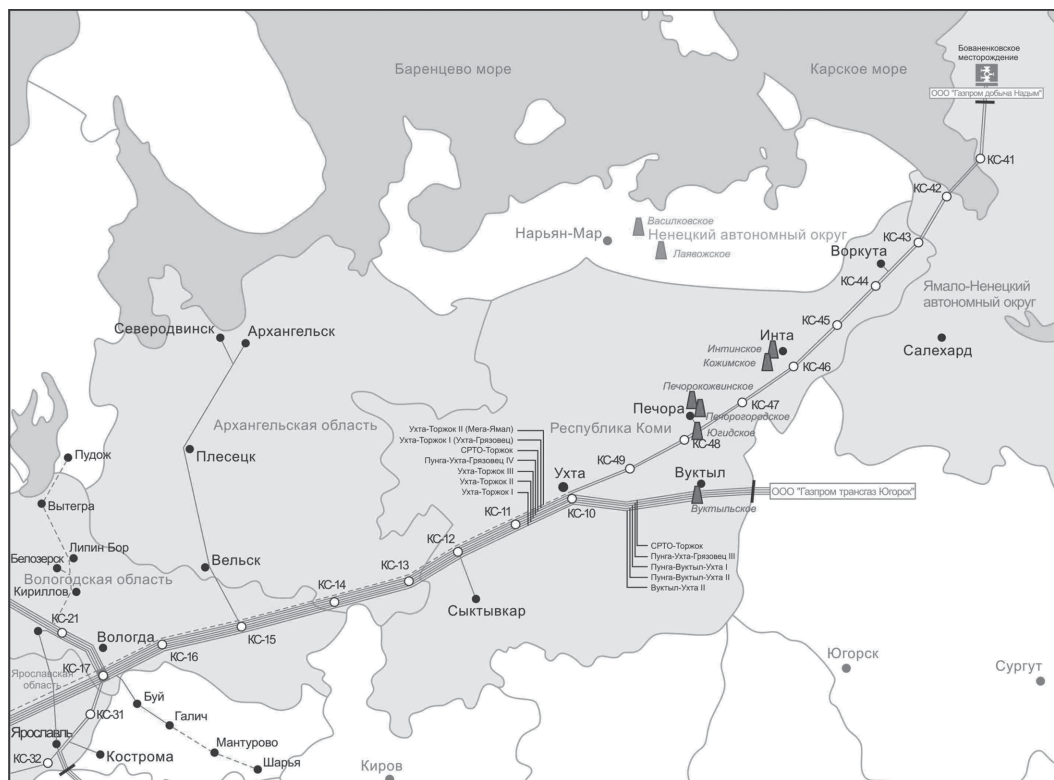


Рис. 3. Схема газотранспортной системы ООО «Газпром трансгаз Ухта»

Fig. 3. Scheme of gas transportation system of OOO «Gazprom transgaz Ukhta»

«Комигазпром» был преобразован в производственное объединение «Севергазпром», а 10 сентября в нём появилась Ямальская экспедиция глубокого бурения. Её «приписали» к Ухте, но работать она должна была на Бованенковском газоконденсатном месторождении Ямала.

В 1987 г. начался второй выход газодобывателей Коми на Ямал. Строители, вышкомонтажники и буровики «Севергазпрома» продолжили дело своих предшественников, укрепляя и расширяя производственную базу. Они создали мощности, способные обеспечить проходку бурения в объёме 100 тысяч метров горных пород. В 1987—1988 гг. был выполнен большой объём работ, но в марте 1989 г. они были приостановлены.

В 1992 г. началось строительство газопровода СРТО—Торжок (Северные районы Тюменской области — Торжок) в границах деятельности ООО «Севергазпром».

В том же 1992 г. Коми филиал ВНИИГАЗа вошёл в состав дочернего предприятия «Севергазпром», образуя с ним единый научно-производственный комплекс.

В 1994 г. «Севергазпрому» была выдана лицензия на разработку Василковского газоконденсатного месторождения, это означало, что предприятие вышло в Ненецкий автономный округ, в 1998 г. был введён в эксплуатацию первый пусковой комплекс месторождения.

На Вуктыльском месторождении в 1993 г. впервые в мировой практике учёными Коми филиала института ВНИИГАЗ и специалистами «Севергазпрома» началась реализация опытно-промышленных работ по активному воздействию на истощённую залежь сухим газом.

В 2000 г. состоялось подписание контракта с чешским концерном «Шкода ЙС» на проведение реконструкции производства газопереработки Сосногорского газоперерабатывающего завода. За два года на заводе была

построена перерабатывающая установка мощностью 3 млрд куб. м газа, которая обеспечивала стопроцентную переработку всего объёма углеводородов, добываемого на Вуктыльском газоконденсатном месторождении.

1 февраля 2008 г. в рамках реструктуризации ООО «Севергазпром» было реорганизовано и получило новое название — ООО «Газпром трансгаз Ухта». При этом из состава предприятия были выделены Вуктыльское газопромышленное управление, Сосногорский газоперерабатывающий завод и Северное линейное производственное управление магистральных газопроводов (ЛПУМГ), которые перешли в состав ООО «Газпром переработка».

С этого времени многопрофильность деятельности предприятия уступила место концентрации на транспорте газа. Сформировалась эксплуатируемая ООО «Газпром трансгаз Ухта» газотранспортная система, охватывающая территорию северо-западной части России — Республики Коми, Архангельской, Вологодской, Ярославской, Костромской, Тверской, Владимирской, Ивановской областей.

На Европейском Севере Российской Федерации ОАО «Газпром» начал осуществлять масштабные инвестиционные проекты, которые имеют прямое отношение к деятельности ООО «Газпром трансгаз Ухта», — строительство «Северо-Европейского газопровода» (сухопутной части), строительство газопровода к городам Архангельску и Северодвинску Архангельской области, решающего вопрос поставки природного газа в город Мирный и на космодром Плесецк.

В 2008 г. началось строительство системы магистральных газопроводов Бованенково — Ухта и была пробурена первая эксплуатационная газовая скважина на Бованенковском месторождении. 4 декабря был сварен первый стык новой газотранспортной системы. От месторожде-



ния до Ухты построили 1 260 км газопровода диаметром 1 420 мм. Таких проектов ни в России, ни в мире ещё не реализовывали. Никто не строил подобные газопроводы в условиях повышенной сложности.

В июне 2012 г. газопровод начали заполнять газом, а 23 октября стартовала промышленная добыча и транспорт газа с Бованенково.

В целом же, для того чтобы газ попадал с месторождений Ямала к потребителям, построено несколько мощных систем магистральных газопроводов: Бованенково—Ухта, Ухта—Торжок и газопровод Грязовец—Выборг, также находящийся в зоне эксплуатационной ответственности ООО «Газпром трансгаз Ухта». Эти газопроводы — самый короткий путь по доставке газа от полуострова Ямал до центра европейской части России и Европы.

На Ямале идёт ежедневная работа предприятий ПАО «Газпром», занятых добычей и транспортом природного газа. ООО «Газпром трансгаз Ухта» на этой территории представляют сотрудники Воркутинского линейного производственного управления магистральных газопроводов, образованного 12 марта 2008 г. Управление работает в двух регионах — Ямало-Ненецком автономном округе и Республике Коми.

В ЯНАО, с двух сторон Байдарацкой губы, находятся две компрессорные станции предприятия — самая северная в мире КС «Байдарацкая» и КС «Ярынская». Между станциями по дну Байдарацкой губы на глубине 23 м проложен подводный переход из четырёх ниток, первые две из которых построили в 2009 г. Средняя протяжённость каждой нитки между станциями — более 70 км, и на морской участок приходится 67 из них. Сложное инженерное сооружение с повышенным уровнем прочности поражает своей уникальностью даже в составе в целом удивительного ямальского проекта.

Ресурсная база газовой отрасли

Долгие годы предприятия «Севергазпрома», как и его предшественники, занимались не только транспортировкой и добычей природного газа, но и воспроизводством сырьевой базы газовой отрасли. На предприятии интенсивно работала геологическая служба, перед которой стояли задачи геологического изучения территории и притока запасов газа. Проблемам восполнения сырьевой базы всегда уделяли большое внимание такие специалисты, как О. А. Солнцев, В. Р. Родыгин, В. В. Иванов, Н. В. Долгушин, В. Н. Данилов и другие.

Буквально накануне структурных преобразований ООО «Севергазпром» являлся владельцем 12 лицензий, из которых 4 — на добычу полезных ископаемых, 8 — на геологическое изучение. Предприятие продолжало проводить поисковые и разведочные работы. В частности, в районе Югид-Соплесского месторождения в ходе проведения работ из эйфельских и старооскольских отложений были получены промышленные притоки разгазированной нефти. Продолжались буровые работы на Западно-Печорогородской структуре: получены промышленные притоки нефти из старооскольских отложений. В период с 2004 по 2012 гг. проводились геолого-разведочные работы на лицензионных участках «Адакский», «Поварницкий» (гряды Чернышева), «Уральский-1» и «Уральский-2» (западный склон Урала).

При проведении сейсморазведочных работ и глубокого бурения на гряде Чернышева были установлены признаки нефтегазоносности, но промышленные объекты не были выявлены [5].

Современные реалии таковы, что с 2012 г. добыча и переработка природного газа в нашей республике осуществляется в основном ООО «Газпром добыча Краснодар», причем производственную деятельность ведут два филиала этой организации: Вуктыльское газопромысловое управление (Вуктыльское ГПУ) с центральным офисом в Вуктыле и Линейно-производственное управление межпромысловых трубопроводов (ЛПУМТ) в Печоре.

Вуктыльское ГПУ предприятия разрабатывает четыре месторождения: Вуктыльское, Западно-Соплесское, Печоро-Кожвинское и Югидское. За последние годы практически на всех производственных объектах управления выполнен капитальный ремонт. В частности, сданы в эксплуатацию три установки комплексной подготовки углеводородов; завершены работы по ремонту 140 скважин и дорог, ведущих к ним.

В настоящее время сырьевая база газовой отрасли крайне истощена. Разрабатываемые месторождения характеризуются значительной (до 80 %) выработанностью запасов. В республике числятся запасы природного газа по 145 месторождениям, из которых по 39 месторождениям учитываются запасы свободного газа, по 106 — растворенного (попутного) газа. Запасы промышленных категорий на территории республики превышают 190 млрд куб. м, в том числе свободного газа — 137.4 млрд куб. м, растворенного — 35.1 млрд куб. м, остальное — газ газовых шапок. Почти 85 % запасов промышленных категорий содержится в месторождениях распределенного фонда [7].

В 2016 г. объемы добычи газа на территории Республики Коми составили:

— свободного газа — 2 069.9 млн куб. м, что на 89.7 млн куб. м, или на 4.3 % ниже, чем в 2015 г., добыча конденсата — 123.3 тыс. т, в 2015 — 154.6 тыс. т (рис. 4).

Добыча растворенного газа достигла 1990 млн куб. м, из них почти 82 % утилизировано, остальной объем отнесен к потерям; по сравнению с предыдущим периодом потери растворенного газа уменьшились более чем на 430 млн куб. м.

Основной объем свободного газа (89.7 %) добывается в Вуктыльском районе (Вуктыльское и Западно-Соплесское месторождения), 8.5 % — на месторождениях, расположенных в Печорском районе, и в незначительных количествах в Сосногорском (1.8 %) и Троицко-Печорском (0.04 %) районах.

На долю ООО «Газпром добыча Краснодар» приходится 98.1 % от общего объема добычи газа по республике, ООО «Геотехнология» — 1.8 %, ОАО «Коминнефть» и ООО «Нижеомринская нефть» ведут добычу газа в незначительных объемах.

Количество добычи газа на Джебольском месторождении (ОАО «Коминнефть») зависит от потребностей ЖКХ поселка Комсомольск-на-Печоре и имеет сезонную неравномерность.

Падение объемов добычи свободного газа в республике обусловлено выработкой запасов на вступивших в завершающую стадию эксплуатации месторождениях Вуктыльского района (Вуктыльское и Западно-Соплесское), являющихся базовыми для Республики Коми. Ресурсная база промышленных запасов свободного газа уже давно не отвечает требованиям газодобычи, вследствие чего происходит ее стабильное снижение. В то же время начальные суммарные ресурсы газа на территории Республики Коми (более 2.0 трлн куб. м) позволяют говорить о возможности открытия достаточно крупных месторождений газа [7].

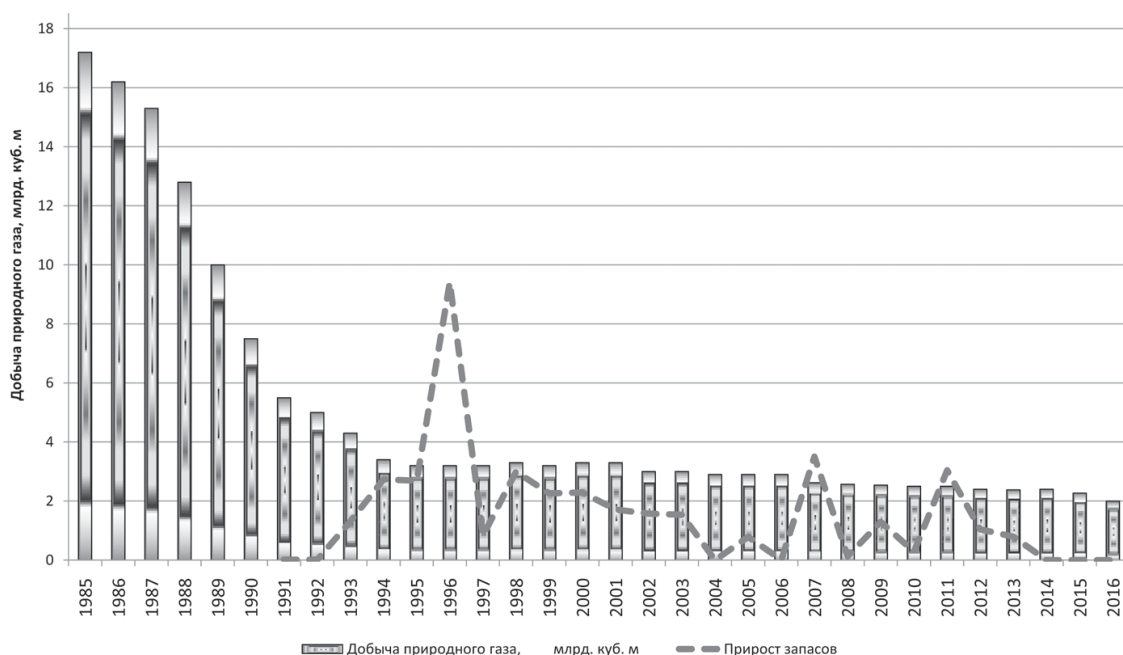


Рис. 4. Динамика добычи газа в Республике Коми

Fig. 4. Gas production in Komi Republic

Для сохранения существующего уровня добычи ООО «Газпром добыча Краснодар» на аукционе, состоявшемся в Севзапнедра 31.08.2017 г., приобрел право пользования недрами Печоргоргородского газоконденсатного месторождения с запасами свободного газа более 14 млрд куб. м. В соответствии с планами компании разработка этого месторождения позволит добывать 0.5–0.7 млрд куб. м в год начиная с 2024 г.

Наиболее значительными ресурсами газа обладает Интинский геолого-экономический район — более 1.5 трлн куб. м. Район расположен непосредственно в коридоре газопровода Ямал—Европа. Возможные открытия в этом районе сопоставимы с Вуктыльским месторождением.

Интенсивные поиски новых месторождений в Вуктыльском геолого-экономическом районе привели к открытию в последние два года двух месторождений и трех залежей на уже разрабатываемых месторождениях.

В Нарьян-Марском геолого-экономическом районе (Ненецкий автономный округ Архангельской области) подготовлена к промышленному освоению группа газоконденсатных месторождений с суммарными промышленными запасами газа — 430 млрд куб. м, конденсата и нефти — 70 млн т [3].

Для успешного воспроизводства сырьевой базы газовой отрасли должны быть проведены региональные и рекогносцировочные работы в Северо-Предуральской нефтегазоносной области. Разведанность газа в Республике Коми ниже, чем нефти. Среди неосвоенных локальных объектов могут быть довольно крупные, высокая вероятность выявления и подготовка их к разработке послужила основанием для оптимистичного прогноза добычи газа в будущем. Территория активных поисков газа включает гряды Чернышева, складчатые восточные зоны впадин Предпайхойского и Предуральского прогибов. Перспективная территория Западного Урала сегодня не может быть оценена в полной мере из-за недостаточной ее изученно-

сти, но даже по минимальным оценкам это площадь около 30 тыс. кв. км, или до 10 % к площади Тимано-Печорской провинции. Если даже учесть, что плотность ресурсов на этих территориях будет ниже плотности начальных суммарных ресурсов изученных районов, то геологические ресурсы перспективных территорий по экспертной оценке составят около 2 млрд т условного топлива, преимущественно это будут ресурсы газа. Понятно, что это приблизительные цифры, но они дают некоторое представление о масштабах возможной нефтегазоносности складчато-надвиговых поясов [4, 5].

Следует подчеркнуть, что Западно-Уральская складчато-надвиговая область является единственным регионом на территории европейской части России, где возможен значительный прирост запасов газа. По материалам сейсморазведки и бурения, складчатая внутренняя часть Предуральского краевого прогиба имеет надвиговое строение. Наиболее широко развиты надвиги в направлении с востока на запад, в сторону прогиба.

Закключение

На основе анализа ситуации, сложившейся в отрасли, можно сказать, что приоритетными направлениями развития газовой отрасли Республики Коми являются восполнение добычи углеводородов запасами промышленных категорий, а также обеспечение сырьем на длительную перспективу Сосногорского газоперерабатывающего завода. Для успешной реализации этих направлений необходимо изыскать возможности для возобновления поисковых и разведочных работ, прежде всего в Интинском и Вуктыльском геолого-экономических районах.

Укрепление сырьевой базы газовой отрасли может быть осуществлено только за счет увеличения объемов геолого-разведочных работ, проводимых как за счет бюджетного финансирования, так и за счет средств недропользователей.



Работы должны включать:

— завершение сетки региональных сеймопрофилей, намеченных программой региональных работ с целью изучения глубинного строения генетически разнотипных территорий;

— отработку на перспективных участках крупных тектонических элементов рекогносцировочно-поисковой сети сеймопрофилей для подготовки объектов для параметрического бурения.

Решение этих задач позволит реализовать огромный ресурсный потенциал западного склона Урала, выявить новые месторождения для последующей передачи их в недропользование.

Литература

1. *В ритме времени. История предприятия: к 50-летию ООО «Газпром трансгаз Ухта»* / Под ред. Н. В. Мельниковой. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2017. 276 с.

2. Гуменюк А. С. Энциклопедия топливно-энергетического комплекса Европейского Севера. М.: Пик, 2010. 1248 с.

3. Данилов В. Н., Иванов В. В. Проблема поддержания и воспроизводства сырьевой базы газодобычи в Тимано-Печорской провинции // Научные проблемы и перспективы нефтегазовой отрасли в Северо-Западном регионе России. Ухта, 2005. С. 4—13.

4. Никонов Н. И., Куранов А. В., Ласкин. В. М. Перспективы поисков залежей нефти и газа в зонах сочленения Урала и Тимано-Печорской плиты // Большая нефть: реалии, проблемы, перспективы. Нефть и газ Европейского Северо-Востока: Доклад на всероссийской конференции 15—17.04.2003 г. Ухта: УГТУ, 2003. С. 85—88.

5. *Перспективы нефтегазоносности центральной части поднятия Чернышева в свете результатов комплексного анализа геолого-разведочных работ на Адакской лицензионной площади* / В. Н. Данилов, В. В. Иванов, А. А. Гудельман и др. // Нефтегазовая геология. Теория и практика: Электр. науч. журн. 2011.

6. Республика Коми, Ухта: родина российской нефтедобычи. Сыктывкар: Коми республиканская типография, 2015. 216 с.

7. *Сырьевая база нефти и газа Тимано-Печорской провинции и перспективы их освоения* / О. М. Прищепа, А. А. Отмас, В. Н. Макаревич и др. // Проблемы воспроизвод-

ства запасов нефти и газа в современных условиях: Сб. науч. статей. СПб.: ВНИГРИ, 2014. С. 32—38.

References

1. *V ritme vremeni. Istoriya predpriyatiya. K 50-letiyu OOO «Gazprom transgaz Ukhta»* (In the rhythm of time. The history of the company. For the 50th anniversary of OOO «Gazprom transgaz Ukhta»), ed. N. V. Melnikova. Syktyvkar: Komi Republican printing house, 2017, 276 pp.

2. Gumenyuk A. S. *Entsiklopediya toplivno-energeticheskogo kompleksa Evropeiskogo severa* (Encyclopedia of the fuel and energy complex in the European North). Moscow: Pik, 2010, 1248 pp.

3. Danilov V. N., Ivanov V. V. *Problema podderzhaniya i vosproizvodstva syr'evoi bazy gazodobychi v Timano-Pechorskoy provintsii* (Problem of the maintenance and reproduction of raw materials base of gas production in the Timan-Pechora province). Scientific problems and prospects of the oil and gas industry in the North-Western region of Russia. Ukhta, 2005, pp. 4—13.

4. Nikonov N. I., Kuranov, A. V., Laskin. V. M. *Perspektivy poiskov zalezhei nefii i gaza v zonah sochleneniya Urala i Timano-Pechorskoy plity* (Prospects of searches of oil and gas deposits in the areas of articulation of the Urals and the Timan-Pechora plate). Big oil: realities, problems, prospects. Oil and gas European North-East. Report on conference 15—17.04.2003, Ukhta: USTU, 2003, pp. 85—88.

5. *Perspektivy neftegazonosnosti tsentralnoi chasti podnyatiya Chernysheva v svete rezul'tatov kompleksnogo analiza geologorazvedochnykh rabot na Adakskoi litsenzyonnoi ploschadi* (Petroleum potential of the Central part of the Chernyshev swell in the light of the results of a comprehensive analysis of exploration works on the licensed area Adachi). Authors: V. N. Danilov, V. V. Ivanov, A. A. Godelman et al. *Neftgazovaya Geologiya. Theory and practice*, 2011.

6. *Respublika Komi, Ukhta: rodina rossiiskoi neftedobychi* (Komi Republic, Ukhta: the motherland of Russian oil production). Komi Republican printing house, Syktyvkar, 2015, 216 pp.

7. *Syrevaya baza nefii i gaza Timano-Pechorskoy provintsii i perspektivy ih osvoeniya* (Raw material base of oil and gas in the Timan-Pechora province and prospects of their development). O. M. Prischepa, A. A. Otmas, V. N. Makarevich et al. Collection articles: Problems of reproduction of oil and gas in modern conditions, St. Petersburg: VNIGRI, 2014, pp. 32—38.



The All-Russian scientific conference with international participation «Geodynamics, substance, ore genesis of the East European Platform and its folded framing» was organized by the Institute of Geology, named after Academician N. P. Yushkin, of Komi SC UB RAS with the information support of the Russian Mineralogical Society and was held in Syktyvkar, September 26—28, 2017.

Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления» была организована Институтом геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН при информационной поддержке Российского минералогического общества и прошла в Сыктывкаре с 26 по 28 сентября 2017 года. Финансовая поддержка была оказана ФАНО РФ и Сыктывкарским отделением РМО.

В работе совещания в различной форме приняли участие 184 специалиста из нескольких регионов России и ряда зарубежных стран. Материалы конференции были опубликованы в виде сборника. Сборник включает расширенные тезисы 110 докладов ученых-геологов из 14 субъектов Российской Федерации, а также Украины, Азербайджана, Таджикистана и Ирана. Электронный вариант сборника в настоящее время доступен на сайте Института геологии (<http://geo.komisc.ru>).

В программу совещания было включено 70 устных и 40 стендовых докладов. Они были сгруппированы в пять тематических групп и вынесены для рассмотрения на соответствующих секционных заседаниях: 1. «Региональная геология, тектоника, геодинамика». 2. «Магматизм и метаморфизм». 3. «Стратиграфия, литология, седиментогенез». 4. «Эволюция осадочных бассейнов, геология горючих полезных ископаемых». 5. «Полезные ископаемые, рудообразование, минерагения». Кроме того, на отдельной секции были рассмотрены стендовые доклады. Большинство заявленных докладов состоялись.

Тематика докладов была очень разнообразной, охватывала широкий круг проблем геологии разных районов

Восточно-Европейской платформы, Печорской плиты, Южно-Каспийской впадины, Тимана и Урала. В докладах были приведены новые данные, касающиеся глубинного строения территории, структурно-вещественной эволюции магматических и метаморфических комплексов, эволюции осадочных бассейнов, рудообразования.

Несмотря на то, что новые данные, изложенные в устных и стендовых докладах и приведенные в опубликованном сборнике, показали высокий уровень полученных



Докладывает С. А. Онищенко
(ЗАО «ГолдМинералс», Сыктывкар)

S.A. Onishchenko is making his report
(ZAO «GoldMinerals», Syktyvkar)



Выступает в прениях профессор В. А. Копейкин
(УГТУ, Ухта)

Prof. V. A. Kopeykin (Ukhta Industrial University)
is speaking in a debate



Обсуждение стендовых докладов
Discussion of posters

научных результатов, многие участники конференции отмечали возросшие трудности как в проведении экспедиционных исследований, так и в аналитической обработке полевых материалов, прежде всего из-за финансовых проблем. Особо поднималась тема подготовки молодых специалистов в системе высшего образования. Высказывалось сожаление, что в программах подготовки студентов-геологов постепенно уменьшается доля базовых геологических дисциплин, снижается роль производственных практик, без которых невозможна полноценная подготовка молодых специалистов.

Эти и многие другие вопросы, казалось бы не связанные напрямую с обсуждаемой темой, к сожалению, стали возникать все чаще на подобных форумах. Обнадешивает то, что они все еще поднимаются и обсуждаются, а значит, вера в возможность возрождения геологии в России пока еще не утрачена.

В заключительной дискуссии была отмечена целесообразность проведения подобных конференций, на которых рассматривается максимально широкий круг вопросов геологии отдельных регионов.

Д. г.-м. н. А. М. Пыстин

ХРОНИКА

19 сентября — 80-летний юбилей ведущего научного сотрудника, заслуженного деятеля науки Республики Коми Е. П. Калинина.

20 сентября — Геологический музей им. А. А. Чернова посетила делегация под руководством советника Президента Республики Болгарии г-на Николая Копринкова.

22 сентября — В связи с официальным визитом в Республику Коми консула Чешской Республики в Санкт-Петербурге Карела Кюнла была организована экскурсия в Геологический музей им. А. А. Чернова.

С 26 по 28 сентября проходила Всероссийская научная конференция с международным участием «Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления».

28 сентября — Геологический музей им. А. А. Чернова посетили преподаватели Университета г. Уппсала (Швеция).

Chronicle

September 19 — the 80th Jubilee of leading researcher, Honored Scientist of Komi Republic E.P. Kalinin.

September 20 — delegation, headed by Adviser of President of Republic of Bulgaria Mr. Nikolay Koprinkov, visited the Geological Museum.

September 22 — excursion to the Geological Museum was organized within the official visit of the consul of Czech Republic in St. Petersburg Karel Kühnl to Komi Republic.

From *September 26 to September 28*, the All-Russian Scientific Conference with international participation «Geodynamics, substance, ore genesis of the East European Platform and its folded framing» was held.

September 28 — Geological Museum was visited by professors from the University of Uppsala (Sweden).

ЧЕЛОВЕК, ОПРЕДЕЛИВШИЙ МОЮ СУДЬБУ • THE MAN WHO DECIDED MY LIFE (памяти академика Н. П. Юшкина • Remembering Academician N. P. Yushkin)

Мой путь в науке неразрывно связан с именем академика Николая Павловича Юшкина, и, хотя мы были знакомы всего 14 лет, он, без сомнения, входит в число трех людей, навсегда определивших мою судьбу и выбор профессии. Двое других — это мой отец, профессор Альберт Александрович Богдасаров, и научный руководитель, академик Алексей Васильевич Матвеев. Третьим стал Николай Павлович. Я еще в детстве много слышал от отца о его коллеге, молодом и талантливом ученом, в 31 год ставшем доктором наук, с которого мне следовало брать пример, поэтому к моменту нашей первой встречи я уже был под впечатлением, понимая, что увижу «живую легенду». Сейчас немного странно осознавать, что, поддерживая регулярные контакты, встречались мы с Николаем Павловичем всего трижды, но каждая из этих встреч была для меня эпической.

Наше знакомство произошло в октябре 1998 года в Минске, когда Николай Павлович оказал мне честь выступить оппонентом моей кандидатской диссертации. Я, разумеется, очень волновался, при этом был очарован скромностью Николая Павловича, выступавшего по-оте-



На защите докторской диссертации. А. А. Богдасаров и оппонент Н. П. Юшкин. Минск, 2009 г.

Doctoral thesis defense. A. A. Bogdasarov and opponent N. P. Yushkin. Minsk, 2009



На конференции «Науки о земле». Брест, 2011 г.

Слева направо: Г. Н. Лысюк, М. А. Богдасаров, Н. П. Юшкин

Conference «Earth Sciences». Brest, 2011.

From left to right: G. N. Lysyuk, M. A. Bogdasarov, N. P. Yushkin

чески заботливо и высказывавшего замечания по работе в такой форме, что хотелось немедленно пойти и сделать все, о чем он говорит. Сегодня, имея за спиной большой жизненный опыт, я еще лучше понимаю, какое это большое искусство — созидательная критика, помогающая молодому исследователю сделать следующий шаг, придающая ему уверенность в собственных силах, поощряющая «держать и творить». И этим талантом в полной мере обладал Николай Павлович. В моей памяти остался и импровизированный ужин в нашей лаборатории, в котором приняли участие только что вернувшие с полевых исследований мои молодые коллеги, продрогшие и нагулявшие аппетит, а потому придавшие этому событию милую непосредственность. И здесь Николай Павлович, впервые ока-



Н.П. Юшкин в зимнем саду Брестского университета

N. P. Yushkin in Winter Garden at Brest University

завшийся в нашем коллективе, почти сразу занял в нем место человека, с которым, кажется, все были знакомы уже много лет и просто давно не виделись.

Следующая встреча произошла десять лет спустя, в апреле 2009 года. Вновь в Минске и вновь на защите диссертации, на этот раз докторской, оппонентом которой выступил Николай Павлович. Нужно сказать, что этому событию предшествовало наше длительное сотрудничество, начавшееся сразу после защиты кандидатской, разносторонняя поддержка Николаем Павловичем моих дальнейших шагов в области изучения ископаемых смол Северной Евразии, начиная от сбора коллекции до выполнения сложнейших анализов, интерпретации их результатов и публикации последних в ведущих российских журналах. Прямо скажу — без помощи и мудрых советов Николая Павловича не было бы и моей докторс-



кой, по крайней мере в том виде, в котором она увидела свет. И сам я при его участии стал образованнее, опытнее, серьезно расширил свой научный кругозор и понимание проблемы генезиса ископаемых смол, которой посвятил свою диссертацию. Выступление Николая Павловича в этот раз было программным — в нем он не только подводил итог сделанному мной, но и показывал стратегические направления дальнейших исследований. А потом была наша совместная прогулка по Минску, повеселенному теплоту и радостному, под стать нашему общему настроению, разговоры по душам, постепенно раскрывавшие мне объем и многогранность личности Николая Павловича.

Третья наша встреча (тогда я и предположить не мог, что она окажется последней) произошла в Бресте в сентябре 2011 года на первой организуемой мной научной конференции, посвященной проблемам наук о Земле (<http://www.brsu.by/div/nauchnye-meropriyatiya>), с тех пор ставшей уже традиционной. Николай Павлович сделал пленарный доклад «Минералогические перспективы», в котором, размышляя о судьбах минералогической науки, предложил следование трем тенденциям ее глобализации: переходу от дифференциации минералогических исследований и минералогической науки к интеграции, к синтезу минералогического знания, расширению полей охва-

та, геологизации минералогии, развитию минералогии как компонента метагеологии и всего естествознания, возвращению от преимущественного проникновения в строение, в микромир минерала к минеральному миру в целом, к познанию структуры и эволюции минерального мира, синтезу биологического и минерального миров.

Сама атмосфера конференции, творческая и праздничная одновременно, способствовала обмену мнениями между ее участниками, как в рамках пленарных и секционных заседаний, так и в неформальной обстановке — в Беловежской Пуше, в поместье белорусского Деда Мороза — мы организовали круглый стол, накануне побывали в Брестской крепости и зимнем саду нашего университета. Во всех этих мероприятиях Николай Павлович принимал самое непосредственное участие — председательствовал на пленарном заседании, участвовал в работе геологической секции, любознательно интересовался всем, что его окружало на экскурсиях. И среди череды множества событий и забот, связанных с организацией конференции, я бесконечно дорожу теми минутами, которые смог провести в беседах с Николаем Павловичем, великим и одновременно близким человеком, давшим мне так много за столь короткое время...

*Д. г.-м. н., профессор, зав. кафедрой географии и природопользования БрГУ имени А. С. Пушкина
М. А. Богдасаров*

ПОЧЕТНЫЙ ГЕОЛОГ

HONORARY GEOLOGIST

On September 19 the leading scientific researcher, Candidate of geological and mineralogical sciences, Honored Researcher of Komi Republic Evgeny Pavlovich Kalinin celebrates his 80th anniversary.

19 сентября исполняется 80 лет ведущему научному сотруднику, кандидату геолого-минералогических наук, заслуженному деятелю науки Республики Коми Евгению Павловичу Калинину.

Вся научная и творческая жизнь юбиляра связана с Институтом геологии, Коми филиалом АН СССР — Коми научным центром УрО РАН и Республикой Коми.

В 1960 г. после окончания геологического факультета Московского государственного университета Евгений Павлович пришел на работу в Институт геологии. Им был пройден большой путь от старшего лаборанта и младшего научного сотрудника института до ученого секретаря президиума Коми филиала, старшего научного сотрудника, заведующего лабораторией региональной геологии и минерально-сырьевых ресурсов, ведущего научного сотрудника лаборатории минерально-сырьевых ресурсов.

Начало исследовательского пути Е. П. Калинина было связано с гранитоидами и кислыми вулканитами Приполярного Урала. Им было проведено детальное изучение их геохимических особенностей, вычислены региональные кларки содержащихся в них химических элементов; подтверждена редкометалльная специализация гранитоидов и установлен ряд проявлений тантал-ниобиевой минерализации. Собранный в многочисленных экспедициях на Урале и тщательно проанализированный материал



лег в основу кандидатской диссертации, успешно защищенной в 1970 г. в Московском государственном университете. С годами расширились научные горизонты, появился особый интерес к оценке минеральных ресурсов Европейского Северо-Востока России.

Будучи щедрым и открытым человеком, Евгений Павлович делился приобретенными знаниями и опытом с коллегами, выступал с лекциями, на семинарах, вел популяризацию геологической науки в газетах и журналах, на телевидении. Активная жизненная позиция проявилась в многолетней работе в профкоме Института геологии, много сил было отдано организации здорового образа жизни, занятий спортом сотрудников института.

От всей души поздравляем Вас, глубокоуважаемый Евгений Павлович, с юбилеем! Будьте здоровы и бодры, полны оптимизма и окружены любовью и вниманием родных и друзей!

Редколлегия Вестника



Федеральное агентство научных организаций
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина
Коми научного центра Уральского отделения
Российской академии наук

26-я научная конференция

**СТРУКТУРА, ВЕЩЕСТВО, ИСТОРИЯ ЛИТОСФЕРЫ
ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО СЕГМЕНТА**

Сыктывкар, 28—30 ноября 2017 г.

Организационный комитет:

Матвеев Владимир Анатольевич — *председатель*
Перовский Игорь Андреевич — *заместитель председателя*
Котик Иван Сергеевич — *секретарь*

Адрес конференции:

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН
167982, Республика Коми, г. Сыктывкар,
ул. Первомайская, 54



Federal Agency for Scientific Organizations
Institute of Geology named after N. P. Yushkin
of Komi Science Center of Ural Branch
of Russian Academy of sciences

The 26th scientific conference

**STRUCTURE, SUBSTANCE, HISTORY OF LITHOSPHERE
OF TIMAN-NORTHERN URAL SEGMENT**

Syktывkar, November 28th — November 30th 2017

Organizational Committee:

Matveev Vladimir Anatolyevich — *Chairman*
Perovsky Igor Andreevich — *Deputy Chairman*
Kotik Ivan Sergeevich — *Secretary*

Address of Conference:

Institute of Geology Komi SC UB RAS
167982, Komi Republic, Syktывkar,
Pervomayskaya st. 54

Phone: +7 (8212) 44-70-45, 26-73-44; fax: +7 (8212) 24-53-46

e-mail: juventus-geo@yandex.ru

<http://geo.komisc.ru/news/conferences/mol26>

**ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ
ВСЕ ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУК О ЗЕМЛЕ**

Принимаются доклады молодых ученых в возрасте до 35 лет включительно, независимо от наличия степени.

Каждый участник может представить один авторский доклад и быть соавтором другого доклада. Предусмотрены два типа докладов:

1. Устный. Продолжительность доклада — 15 минут (+ 5 минут — ответы на вопросы). Доклад сопровождается компьютерной презентацией.

2. Короткая презентация стендового доклада (5 минут). В коротком анонсе стендового доклада должны быть отражены основные моменты исследования. Выступление сопровождается компьютерной презентацией и проходит до стендовой сессии. Размеры постера не более 120 × 120 см.

Планируется опубликование материалов конференции в виде сборника к началу конференции.

Представленные для опубликования материалы должны пройти научное редактирование (руководителем, заведующим подразделением). Материалы минерально-ресурсной тематики должны сопровождаться актом экспертизы.

С целью повышения квалификации молодых участников планируется проведение научно-популярных лекций ведущими специалистами в области фундаментальных наук.

Оргкомитет приглашает спонсоров к взаимовыгодному сотрудничеству и участию в работе конференции.

**THEMES OF THE CONFERENCE INCLUDE
ALL BASIC DIRECTIONS OF EARTH SCIENCES**

Reports are submitted from young scientists at the age of up to 35 inclusive, irrespective of scientific degree.

Each participant can present one authors report and to be co-author of other report. There are two types of reports:

1. Oral. The duration of the report is 15 minutes (+ 5 minutes — answers to questions). The report is accompanied by a computer presentation.

2. A short presentation of the poster - 5 minutes. The short announcement of the poster should reflect the main points of the research. The presentation is accompanied by a computer presentation and takes place before the poster session. During the session one of the authors of the report should be near the poster. The size of the poster is not more than 120 × 120 cm.

It is planned to publish the conference proceedings as a collection of articles by the beginning of the conference.

Materials, submitted for publication, must undergo scientific editing (by the supervisor, head of the department). Materials of mineral and resource themes should be accompanied by an act of expertise.

To improve the skills of young participants, it is planned to conduct popular scientific lectures by leading specialists in the field of basic sciences.

The Organizing Committee invites sponsors to mutually beneficial cooperation and participation in the conference.

Ответственный за выпуск:
Б. А. Макеев

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

Компьютерная верстка
Т. В. Хазовой

Подписано в печать 20.11.2017

Тираж 180



Заказ 1051

Редакция:
167982, Сыктывкар, Первомайская, 54

Тел.: (8212) 24-51-60
Факс: (8212) 44-82-68
E-mail: vestnik@geo.komisc.ru

При оформлении обложки использованы фото И. Астаховой, Ю. Глухова, И. Голубевой, Р. Шуктомова