



Вестник

Ноябрь 2016 г., № 11 (263)

Института геологии Коми научного центра УрО РАН

Научно-информационное издание, основанное академиком Н. П. Юшкиным в 1995 г.

Содержание

Научные статьи

- Органическое вещество, катагенетическая преобразованность и генерационный потенциал казанско-татарских отложений севера Предуралья прогиба
О. С. Котик 3
- Возраст горизонтов нижнего силура Европейского Северо-Востока России
Т. М. Безносова, В. Ю. Лукин, П. Мянник 10
- Литолого-геохимическая характеристика силурийских отложений Тальбейского блока гряды Чернышева
И. С. Котик, И. И. Даньщикова, О. С. Котик, О. В. Валяева, С. В. Можегова, Л. В. Соколова 15
- Биомаркеры углей Интинского месторождения, выделение и анализ химической структуры гиперуглей
Д. А. Бушнев, Н. С. Бурдельная, Д. В. Кузьмин, М. В. Мокеев, И. Н. Бурцев 23
- Ресурсный и стоимостной потенциал полезных ископаемых Арктической зоны Тимано-Североуральского региона
С. К. Кузнецов, Н. Н. Тимонина, Д. С. Кузнецов 31
- Наноразмерные морфологические характеристики частиц синтетических порошков натисита и паранатисита
И. А. Перовский, Н. Н. Пискунова 40
- Дискриминантный анализ аминокислотного состава природных углеродистых веществ
О. Е. Амосова, Е. А. Голубев, С. Н. Шанина 46

Хроника, события, факты

- XVIII Международный конгресс по обогащению угля 54
- Конференция минералогов в Римини 54
- Конференции по проблемам обогащения и переработки минерального сырья 56
- Саммит молодых исследователей 58
- Хроника 60

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. Удорткина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия



November, No. 11 (263), 2016

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

- | | |
|--|---|
| Organic matter, catagenesis transformation and generation potential of kazan-tatarian deposits in the north of Pre-ural foredeep
<i>O. S. Kotik</i> 3 | Biomarkers of Inta coal deposit, isolation and analysis of chemical structure of hypercoals
<i>D. A. Bushnev, N. S. Burdelnaya, D. V. Kuzmin, M. V. Mokeev, I. N. Burtsev</i> 23 |
| The age of silurian regional stages of European North-Eastern Russia
<i>T. M. Beznosova, V. Yu. Lukin, P. Männik</i> 10 | Resource and value potential of mineral resources of Arctic zone of Timan-Northern Ural region
<i>S. K. Kuznetsov, N. N. Timonina, D. S. Kuznetsov</i> 31 |
| Lithological and geochemical characterization of silurian deposits in the Talbeysky block of Chernyshev ridge
<i>I. S. Kotik, I. I. Danshikova, O. S. Kotik, O. V. Valyaeva, S. V. Mozhegova, L. V. Sokolova</i> 15 | Nanoscale morphological characteristics of particles of the synthetic natisite and paranatisite powders
<i>I. A. Perovskiy, N. N. Piskunova</i> 40 |
| | Discriminant analysis of amino acid composition of natural carbonaceous substances
<i>O. Ye. Amosova, Ye. A. Golubev, S. N. Shanina</i> 46 |

Chronicle, events, facts

- | | |
|--|--------------------------------------|
| XVIII International Coal Preparation Congress 54 | Summit of young researchers 58 |
| Conference of mineralogists in Rimini 54 | Chronicle 60 |
| Conferences of mineral processing 56 | |

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:

Anna I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
Maarten A. T. M. Broekmans, Trondheim, Norway
Igor N. Burtsev, Syktyvkar, Russia
Dmitry A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yury L. Voytekhovsky, Apatity, Russia
Alexey D. Gvishiani, Moscow, Russia
Nikolay N. Gerasimov, Syktyvkar, Russia
Irina V. Kozyreva, Syktyvkar, Russia
Marko Komac, Ljubljana, Slovenia
Rustam I. Koneev, Tashkent, Uzbekistan
Viktor A. Koroteev, Ekaterinburg, Russia

Sergey V. Krivovichev, Saint Petersburg, Russia
Sergey K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
Maximiliano de Souza Martins, Ouro Preto, Brazil
Tatyana P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
Joan Carles Melgarejo, Barcelona, Spain
Fancong Meng, Beijing, China
Peep Mannik, Tallinn, Estonia
Alexander M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Constance M. Soja, Hamilton, NY, USA
Oksana V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
Mikhail A. Fedonkin, Moscow, Russia



ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО, КАТАГЕНЕТИЧЕСКАЯ ПРЕОБРАЗОВАННОСТЬ И ГЕНЕРАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КАЗАНСКО-ТАТАРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРА ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА

О. С. Котик

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

procko@geo.komisc.ru

В статье представлены результаты углепетрографических и пиролитических исследований казанско-татарских отложений севера Предуральского краевого прогиба, что весьма актуально для оценки нефтегазоносности региона. Основными компонентами в составе органического вещества являются микрокомпоненты группы витринита. Увеличение (до 30 %) липтинитовых компонентов связано с отложениями лагунных и озерно-болотных обстановок осадконакопления и отмечается локально на юго-востоке Коротаихинской впадины и области сочленения гряды Чернышева с Косью-Роговской впадиной. По данным углепетрографии, на большей части исследуемой территории катагенез органического вещества казанско-татарских отложений достигает градаций PK_3 — MC_1 ($R_o < 0.5$). Нарастание уровня зрелости органического вещества происходит в северо-восточном направлении до стадии MC_3 ($R_o > 0.85$) в пределах Коротаихинской впадины. Пиролитическим методом установлено повсеместное распространение пород, характеризующихся низким углеводородным потенциалом ($HI < 100$ мг УВ/г $C_{орг}$). Повышение значений этого показателя ($HI > 150$ мг УВ/г $C_{орг}$) зафиксировано локально в пределах Коротаихинской впадины и зоны сочленения гряды Чернышева с Косью-Роговской впадиной и связано с более высоким содержанием в составе органического вещества липтинитовых компонентов.

Ключевые слова: верхнепермские угленосные отложения, органическое вещество, углепетрография, катагенез, водородный индекс, генерационный потенциал.

ORGANIC MATTER, CATAGENESIS TRANSFORMATION AND GENERATION POTENTIAL OF KAZAN-TATARIAN DEPOSITS IN THE NORTH OF PRE-URAL FOREDEEP

O. S. Kotik

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktывkar

The article presents the results of coal petrological and pyrolytic (Rock-Eval) research of Kazan-Tatar deposits in north of the Pre-Ural foredeep which is very important to evaluate the oil and gas potential of the region. The main components in the composition of organic matter are macerals component of vitrinite group. The high content (up to 30%) of liptinite components is in the deposits of lagoon and lake-swamp depositional environments which are located in the southeast of Korotaikhinskaya depression and connection area of Chernyshev ridge with Kosyu-Rogovskaya depression. According to coal petrography the catagenesis transformation of organic matter in Kazan-Tatar deposits has gradation PC_3 — MC_1 ($R_o < 0.5$) in the largest part of the study area. The maturity level of organic matter increases to gradations MC_3 ($R_o > 0.85$) within Korotaikhinskaya depression. Pyrolytic method established that deposits with low hydrocarbon potential ($HI < 100$ mg HC / g TOC) were prevalent in the territory. High values of hydrogen index ($HI > 150$ mg HC / g TOC) are locally in the Korotaikhinskaya depression and connection zone of Chernyshev ridge with Kosyu-Rogovskaya depression, which is associated with an increase of liptinite components in organic matter.

Keywords: Permian coal-bearing deposits, organic matter, coal petrography, catagenesis, hydrogen index, generation potential.

Введение

Пермские терригенные отложения казанско-татарского возраста на территории севера Предуральского краевого прогиба содержат значительное количество многокомпонентного органического вещества (ОВ), обладающего различными генерационными возможностями. При оценке углеводородного потенциала определяющими являются состав ОВ и степень его катагенетической преобразованности. Состав ОВ, в свою очередь, зависит от литолого-фациальных условий осадконакопления рассматриваемого комплекса, для чего приводятся результаты сопоставления состава ОВ углей и пород с литолого-фациальными условиями формирования. Для получения этой необходимой информации были проведены углепетрографические и пиролитические исследования и обобщены

опубликованные ранее результаты [5, 6] по 20 разрезам скважин и обнажений по рр. Сырьяга, Силовая и Адзьва севера Предуральского краевого прогиба и прилегающих с запада платформенных областей.

Состав органического вещества и условия его накопления

На территории Печорского бассейна угли казанско-татарского возраста гумусовые, преимущественно витринитовые (рис. 1). Развита угли различных марок — от бурых до каменных. По классификации микрокомпонентов в бурых углях витринит носит название гуминит [11]. Гелифицированные компоненты углей в среднем составляют от 35 до 92 %. В рассматриваемых отложениях встречаются угли с содержанием инертинита от 6 до 44 %. Увели-

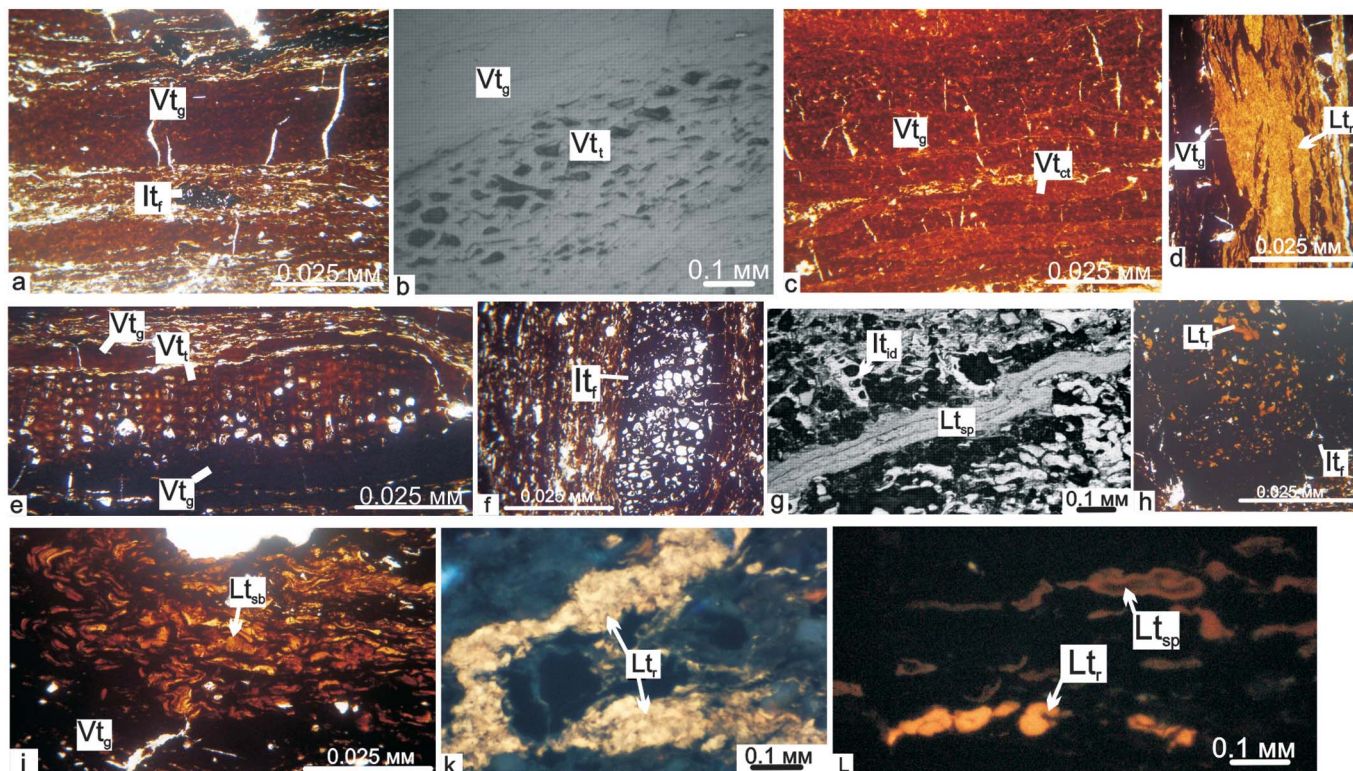


Рис. 1. Микрокомпоненты углей казанско-татарских отложений в скв. Неченская-408: а, с–f, h, i — проходящий свет, ув. 100–800 раз; b, g — отраженный свет, k, l — отраженный ультрафиолетовый свет, ув. 200. а, b, e — обр. 54; c, i — обр. 40; d, f — обр. 35; g — обр. 42; h — обр. 36; k — обр. 64; l — обр. 53. Микрокомпоненты: Vt — группа витринита (Vt_t — телинит, Vt_{ct} — коллотелинит, Vt_g — гелинит), It — группа инертинита (It_f — фюзинит, It_{id} — инертодетринит), Lt — группа липтинита (Lt_{sp} — споринит, Lt_{sb} — суберинит, Lt_r — резинит)

Fig. 1. The macerals component of coals in Kazan-Tatar deposits in well Nechenskaya-408: a, c–f, h, i — transmitted light, mag. 100–800; b, g — reflected light, k, l — reflected ultraviolet light, mag. 200. a, b, e — sample 54; c, i — sample 40; d, f — sample 35; g — sample 42; h — sample 36; k — sample 64; l — sample 53. Macerals component: Vt — vitrinite group (Vt_t — telinite, Vt_{ct} — kollotelinite, Vt_g — gellinite), It — inertinite group (It_f — fusinite, It_{id} — inertodetrinite), Lt — liptinite group (Lt_{sp} — sporinite, Lt_{sb} — suberinite, Lt_r — resinite)

чение инертинитовых компонентов характерно преимущественно для зольных прослоев с повышенным содержанием глинистого вещества. Липтинитовые компоненты в среднем по пласту составляют менее 8–10 %. Однако для маломощных пластов отдельных месторождений (Тальбейское, Шарью-Заостренское, Неченское, Сейдинское) характерны угли листоватого облика с большим (до 30 %) количеством липтинита [7], в которых преобладают микрокомпоненты споринита, кутина и резинита (рис. 1).

Состав ОВ и соотношение его микрокомпонентов зависят от условий формирования отложений. В целом на изучаемой территории выделяются отложения, образовавшиеся в различных фациальных обстановках — от континентальных до прибрежно-морских, включая лагунные. Распределение этих обстановок по площади неравномерно. Обстановки со схожими условиями объединяются в литолого-палеогеографические зоны. А. В. Македоновым были построены карты распространения палеогеографических зон в различные эпохи пермского угленакопления, в том числе и для печорского времени [4].

В отложениях печорской серии на территории севера Предуралья прогиба, относящихся к местным подразделениям казанско-татарского яруса [1], выделяется несколько зон, различающихся комплексом литолого-фациальных обстановок и составом ОВ (рис. 2). Первая литолого-фациальная зона самая восточная (рис. 2, зона I), она

протягивается узкой полосой вдоль Урала, наиболее распространена в южной части Косью-Роговской впадины и имеет ответвление на севере впадины в районе Воргашорского и Нижнесырьягинского месторождений. Для этой зоны характерно преобладание дельтовых и баровых фациальных комплексов, ритмично чередующихся с озерно-болотными фациями. Вторая литолого-фациальная зона (рис. 2, зона II) занимает значительную часть севера Предуралья прогиба и охватывает районы некоторых месторождений — от Кушшорского на западе до Янгарецкого на севере. Она представлена сходным комплексом фаций, но с преобладанием отложений пресноводно-лагунного и озерно-болотного генезиса. Здесь на обширных участках развивались озерно-болотные фации, в условиях которых происходило значительное накопление осадков, обогащенных липтинитом, преобразованных до листоватых, сланцеподобных углей (Тальбейское месторождение). Третья литолого-фациальная зона (рис. 2, зона III) располагается к западу от Падимейской структуры и узкой полосой протягивается к югу вдоль гряды Чернышева. Здесь наблюдается чередование пресноводных, опресненно-лагунных и дельтовых фаций с болотными. Основные максимумы угленакопления характерны для северной части зоны (Ватъярское и Верхнероговское месторождения). В южной части зоны (Салюкинский, Среднемакарихинский и Суборский районы) широко распространены

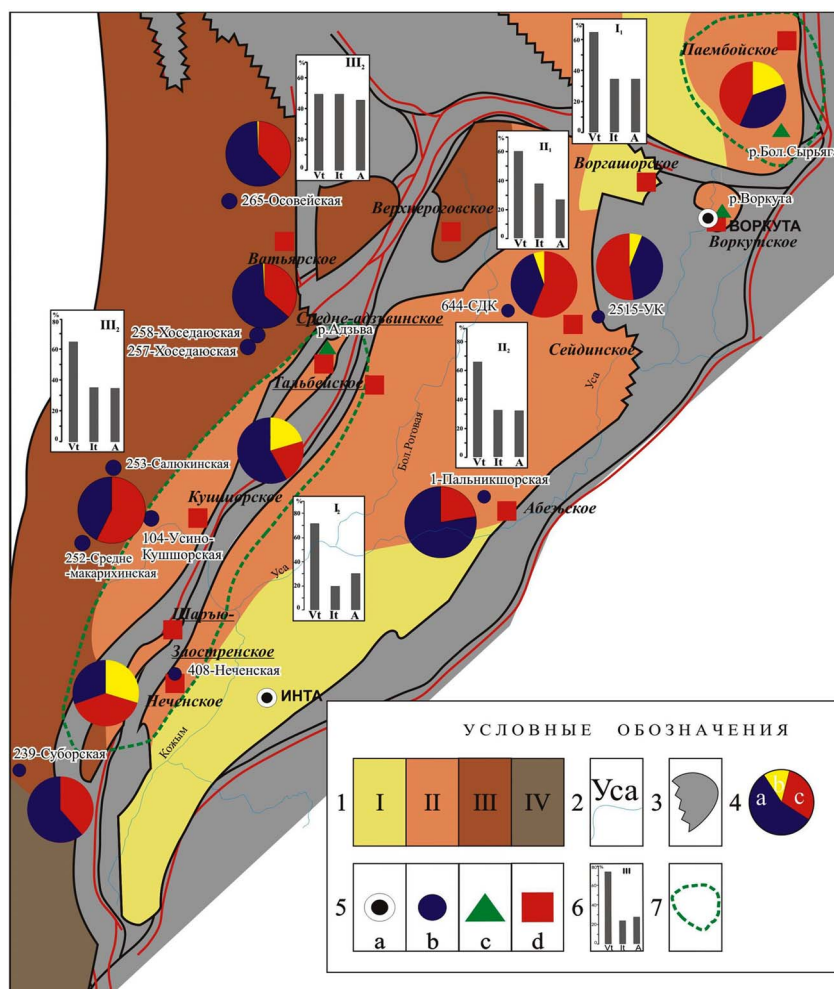


Рис. 2. Развитие литолого-фациальных зон на территории севера Предуральяского краевого прогиба и состав органического вещества в породах казанско-татарского возраста (составлено с использованием материалов: [4, 8, 9, 10]): 1 — литолого-фациальные зоны: I — преобладания лагунно-дельтовых и баровых комплексов, чередующихся с озерно-болотными фациями; II — чередования пресноводно-лагунных, озерно-болотных и озерно-аллювиальных фаций с преобладанием озерных; III — чередования пресноводных, опресненно-лагунных и лагунно-дельтовых аллювиальных фаций с озерно-болотными; IV — чередования лагунно-баровых и озерно-аллювиальных фаций; 2 — реки; 3 — зоны отсутствия отложений казанско-татарского возраста; 4 — состав ОВ, содержание компонентов: а — группы инертинита, b — группы липтинита, с — группы витринита; 5 — точки: а — города, b — скважины, с — обнажения по рекам, d — месторождения углей; 6 — соотношение параметров углей месторождений по выделенным зонам: Vt — витринит, It — инертинит, А — зольность; 7 — контур максимального содержания компонентов группы липтинита

Fig. 2. The composition of organic matter in the Kazan-Tatar deposits and distribution of lithofacies zones in the north of Pre-Ural foredeep (compiled from [4, 8, 9, 10] with additions): 1 — litho-facies zones: I — the prevalence of lagoon-delta and bars complexes alternating with lake-marsh facies; II — alternation freshwater-lagoon, lake-marsh and lacustrine-alluvial facies with a predominance of the lake; III — the alternation of freshwater, lagoon-desalination and lagoon-deltaic alluvial facies with lake-marsh; IV — alternation lagoon-bars and lake-alluvial facies; 2 — river; 3 — zone of absence Kazan-Tatar deposits; 4 — organic matter composition and components content: a — inertinite group, b — liptinite group, c — vitrinite group; 5 — point: a — city, b — well, c — outcrops, d — coal deposits; 6 — parameters of coal deposits on define zones: Vt — vitrinite, It — inertinite, A — ash content; 7 — area of the maximum content of liptinite groups

ны отложения озерных и слабоопресненных лагунных обстановок с более спокойным геодинамическим режимом, в отличие от северных участков. В составе ОВ отмечается резкое преобладание компонентов витринита (более 85 %) и низкое (менее 20 %) содержание инертинита. Четвертая зона (рис. 2, зона IV) узкой полосой прослеживается на севере Большесынинской впадины. Ее отложения по ряду характеристик подобны отложениям предыдущей зоны (Суборская площадь). В пределах этой зоны в основном распространены отложения лагунно-барового комплекса, редко встречаются озерные фации с полным отсутствием углепроявлений. В породах этого участка встречается не-

большое количество инертинитового ОВ и значительное (до 20 %) количество липтинитовых компонентов, определяющих углеводородный потенциал комплекса. Из обстановок, где накапливалось большое количество липтинитовых компонентов, выделяются лагунные, озерные области и болота с высокой степенью обводненности. Такие условия локально распространены на юго-востоке Коротаихинской впадины и в зоне сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины (рис. 2, контур 7). Изменения состава компонентов ОВ пород и углей в целом предопределяются общими условиями седиментации терригенного комплекса.

Катагенез ОБ

Вопросы катагенетической зональности казанско-татарских отложений, и особенно степени преобразованности углей (месторождений), изучались различными научными и научно-исследовательскими коллективами (ВНИГРИ, ВНИГНИ, Воркутауголь, ИГиРГИ, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН). На территории Печорского угольного бассейна основное внимание при промышленной разработке и, соответственно, детальной оценке свойств угольных пластов уделялось коксующимся углям кунгурского возраста. Менее преобразованные угли верхней перми ввиду особенностей своих свойств являются наименее изученными объектами на исследуемой территории. Это обусловило отсутствие достаточного количества данных, а схемы метаморфизма углей составлялись для всего интервала верхней перми (включая уфимский ярус). Составление схемы катагенеза ОБ рассматриваемого казанско-татарского интервала в объеме печорской серии потребовало получения новых данных по отражательной способности витринита и обобщения литературных источников [1, 2, 5]. Дополнительные измерения показателя отражения витринита (R_0) проводились на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых МГУ (Москва) по 5 разрезам: скв. № 408-Неченская, 644-СДК, 542-СДК, обнажений по р. Адзьва и р. Бол. Сырьяга.

Катагенез ОБ казанско-татарских отложений на территории севера Предуральского краевого прогиба изменяется от протокатагенеза (PK_3) до мезокатагенеза (MK_2 — MK_3). На большей части территории преобразованность ОБ достигает градаций катагенеза PK_3 — MK_1 . Нарастание уровня зрелости происходит в северо-восточном направлении до стадии MK_3 в пределах Коротаихинской впадины (рис. 3). Значения показателя отражения витринита (R_0) изменяются в пределах от 0.4 % в Варандей-Адзвинской зоне до 0.9 % в Коротаихинской впадине. Для дополнительной характеристики уровня зрелости ОБ использовались данные пиролиза Rock-eval, проведенные во ВНИГНИ (г. Москва). Значения T_{max} (°C) от центра Косью-Роговской до восточной оконечности Коротаихинской впадин изменяются от 430 до 450° (рис. 3). На основании полученного комплекса данных R_0 и результатов пиролиза T_{max} была построена схема латерального изменения катагенеза ОБ по подошве казанско-татарских отложений севера Предуральского краевого прогиба.

В результате проведенных углепетрографических исследований установлено, что казанско-татарские отложения достигли зоны нефтегенерации с уровнем преобразованности ОБ до градаций катагенеза MK_2 — MK_3 в пределах южной оконечности Коротаихинской впадины ($R_0 > 0.85$ %). На территории Косью-Роговской впадины ОБ преобразовано до градаций MK_1 — MK_2 с увеличением степени зрелости в районе восточного борта впадины (R_0 0.8—0.85 %). На прилегающих с запада районах гряды Чернышева и областей платформы распространены казанско-татарские отложения, содержащие незрелое ОБ, отвечающее подстадии протокатагенеза ($R_0 < 0.5$ %).

Углеводородный потенциал ОБ

Распределение значений водородного индекса (HI, мг УВ/г $C_{орг}$) в породах казанско-татарского возраста обусловлено изменениями в составе ОБ и его катагенетической зрелостью. Большинству изученных разрезов, сосредоточенных на юге (р. Кожым) и восточном борту

(скв. Пальникшор-1) Косью-Роговской впадины, свойственны низкие значения показателя $HI \leq 100$ кг УВ / г $C_{орг}$. Наиболее низкий углеводородный потенциал ОБ-комплекса характерен для Варандей-Адзвинской зоны, Хорейверской и Большесынинской впадин. Максимумы значений HI определены в породах района сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины, а также на юго-восточной оконечности Коротаихинской впадины. Единичные повышенные значения HI зафиксированы в разрезах скв. 1-Коротаихинская и 2515-УК. В распределении HI по отдельным районам отчетливо видно, что наибольшие значения показателя (300—400 мг УВ/г $C_{орг}$) фиксируются для Усино-Сейдинского (с Адзвинским) и Сырьягинского районов севера Предуральского прогиба. Более низкие значения данного показателя (< 100 мг УВ/г $C_{орг}$) характерны для северо-западного района, включающего разрезы юга Варандей-Адзвинской зоны и север Большесынинской впадины. Средние значения водородного индекса отмечаются в Неченском, Интинском и Коротаихинском районах.

Площадное распределение значений показателя HI (рис. 4) свидетельствует о невысоком углеводородном потенциале ОБ ($HI \geq 150$ кг УВ/т ОБ) пород на большей части исследуемой территории. На юго-востоке Коротаихинской впадины в Сырьягинском районе выявляется зона повышенных значений HI (> 150 кг УВ/т ОБ). Здесь величина HI меняется от 200 до 400 кг УВ/т ОБ за счет значительного содержания липтинитового ОБ наземного происхождения (остатки спор, пыльцы, кутикулы, смолы). В зоне сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины выделяется зона повышенных значений HI, где, как отмечалось, также выявляется большое содержание компонентов группы липтинита. Зона средних значений HI 100—150 кг УВ/т ОБ оконтуривается вокруг предыдущей зоны и включает районы Неченского и Сейдинского месторождений, Среднекочмесскую и Коротаихинскую площади (рис. 4). В результате проведенных исследований уточнено распределение НГМ пород угленосной толщи казанско-татарского возраста и выявлен их низкий и преимущественно газовый генерационный потенциал. Зоны развития пород, обладающих более высоким УВ-потенциалом ОБ, имеют локальное распространение в районах сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины и на юго-востоке Коротаихинской впадины. Однако породы указанных районов западного борта Косью-Роговской впадины включают незрелое ОБ, потенциал которого еще не реализован в отличие от остаточного потенциала ОБ пород южной оконечности Коротаихинской впадины.

Заключение

Обобщая результаты изучения состава ОБ по разрезам казанско-татарских отложений, можно отметить следующие особенности. В составе ОБ преобладают гелифицированные компоненты группы витринита с подчиненным количеством групп инертинита и липтинита. Среди липтинитовых компонентов, которые нередко формируют целые прослои в углях (до 30 %), установлены микрокомпоненты споринита, суберинита, кутинита и липтодетринита.

Доля различных компонентов в составе ОБ непосредственно зависит от условий накопления осадков. Из фациальных обстановок, где накапливалось большое количество липтинитовых компонентов, выделяются: лагун-

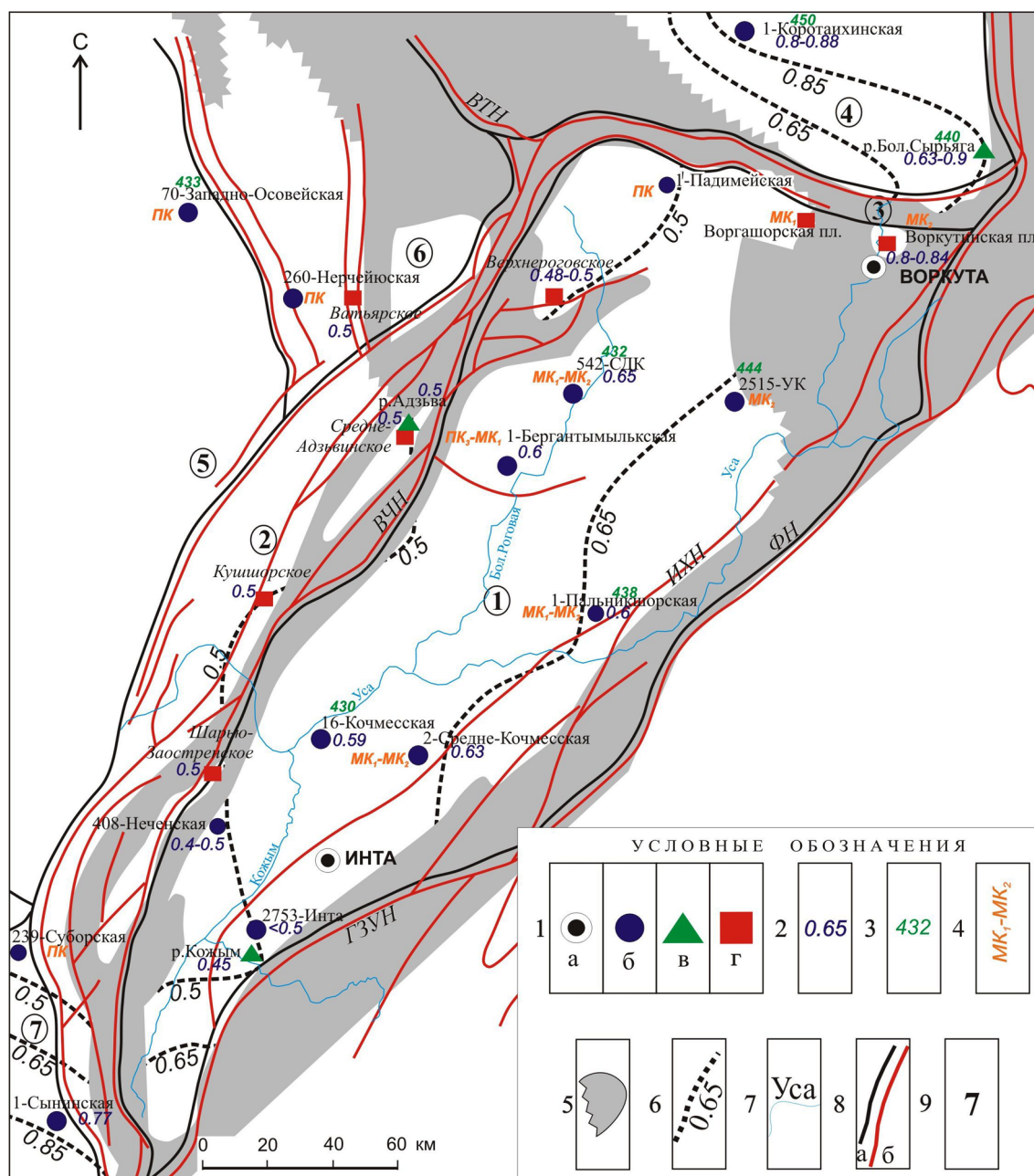


Рис. 3. Катагенез ОВ по подошве казанско-татарских отложений на территории севера Предуралья и прилегающих территорий (составлено с дополнением по: [3, 5, 8]): 1 — точки (см. рис. 2); 2 — значения показателя отражения витринита (R_o , %); 3 — параметр пиролиза — T_{max} (°C); 4 — градации катагенеза; 5 — зоны отсутствия отложений; 6 — изореспленды; 7 — реки; 8 — границы: а — тектонических структур, б — разломов и региональных надвигов: ИХН — Интинско-Хановейского, ГЗУН — Главного Западно-Уральского, ФН — Фронтального, ВТН — Восточно-Чернышевского; 9 — структуры 1-го порядка: 1 — Косью-Роговская впадина, 2 — гряда Чернышева, 3 — гряда Чернова, 4 — Коротаихинская впадина, 5 — Хорейверская впадина, 6 — Варандей-Адзвинская структурная зона, 7 — Большесынинская впадина

Fig. 3. Catagenesis of organic matter on the bottom of Kazan-Tatar deposits in the north of Pre-Ural foredeep and the neighboring area (compiled from [3, 5, 8] with additions): 1 — point: а — city, б — well, в — outcrops, г — coal deposits and mines; 2 — the value of vitrinite reflectance data (R_o , %); 3 — the value of pyrolysis T_{max} (°C); 4 — katagenesis gradation; 5 — zone of absence Kazan-Tatar deposits; 6 — izoresplendy; 7 — river; 8 — boundaries: а — tectonic structures, б — faults and regional thrusts: ИХН — Inta-Hanoveysky, ГЗУН — general Western Ural, ФН — Front thrust, ВТН — East Talotinsky; 9 — structure of the first order: 1 — Kosyu Rogovskaya depression, 2 — Chernyshev ridge, 3 — Chernov ridge, 4 — Korotaihinsky depression, 5 — Khoreyver depression, 6 — Varandey-Adzvin'skaya structural zone, 7 — Bolshesyninskaya depression

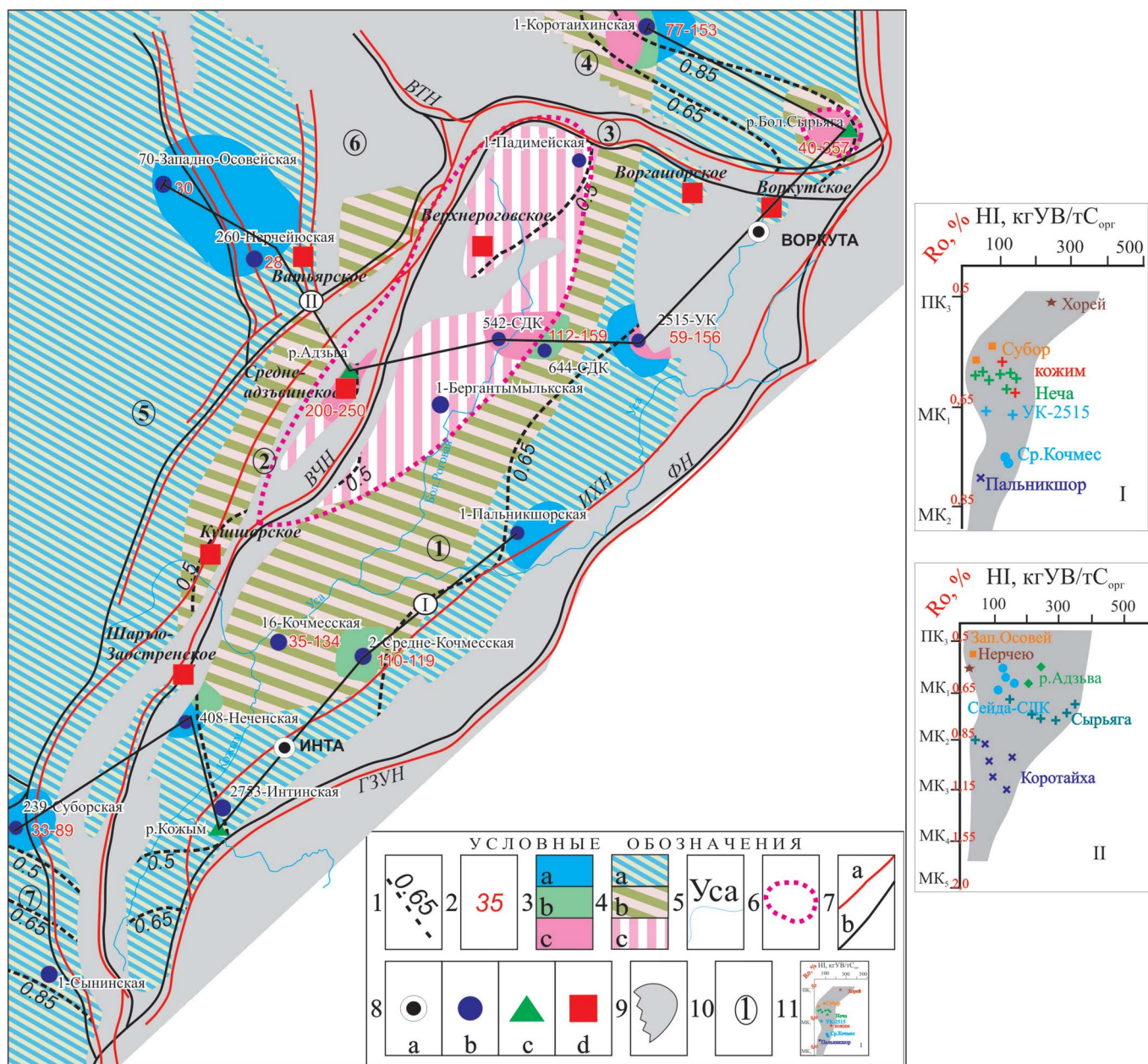


Рис. 4. Остаточный углеводородный потенциал ОВ казанско-татарских отложений севера Предуралья и прилегающих территорий (составлено с дополнениями по: [3, 5, 8]): 1 — изореспленды; 2 — значения водородного индекса (HI, мг УВ/г $C_{орг}$); 3 — зоны различных градаций HI: а — < 100, б — 100—150, с — > 150; 4 — предполагаемые зоны HI: а — < 100, б — 100—150, с — > 150; 5 — реки; 6 — контур максимума HI; 7 — границы: а — структур первого порядка, б — региональных разломов; 8 — точки и исследованные разрезы (см. рис. 2); 9 — зоны отсутствия отложений; 10 — тектонические структуры (см. рис. 3); 11 — профили изменения HI

Fig. 4. Hydrocarbon potential of the organic matter in Kazan-Tatar deposits in the north of Pre-Ural foredeep and the neighboring area (compiled from [3, 5, 8] with additions): 1 — izoresplendy; 2 — the hydrogen index values (HI, mg HC / g TOC); 3 — zone of various gradations HI: а — < 100, б — 100—150, с — > 150; 4 — suppositional zone of HI: а — < 100, б — 100—150, с — > 150; 5 — river; 6 — area of the HI maximum; 7 — boundaries: а — first-order structures, б — regional faults; 8 — point and examined sections (see Fig. 2); 9 — lack of sediment zone; 10 — tectonic structures (see Fig. 3); 11 — HI change profiles



ные, озерные области и болота с высокой степенью обводненности, которые локально отмечаются в Коротаихинской впадине, а также в зоне сочленения Косью-Роговской впадины с грядой Чернышева.

Катагенез ОБ казанско-татарских отложений на изучаемой территории изменяется от протокатагенеза (ПК₃) до мезокатагенеза (МК₂ — МК₃). На большей части изученной территории катагенез ОБ соответствует градициям ПК₃ — МК₁. Нарастание уровня катагенеза происходит в северо-восточном направлении до градиции МК₃ в пределах Коротаихинской впадины.

В результате проведенных пиролитических исследований установлены локальные зоны развития пород, обладающих средним генерационным потенциалом ОБ, которые распространены в районах сочленения Косью-Роговской впадины и гряды Чернышева, а также на юго-востоке Коротаихинской впадины.

Аналитические исследования проводились в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар), МГУ (Р) и ВНИГНИ (Rock-Eval, г. Москва). Исследования выполнены при частичной поддержке программы УрО РАН (№ 15-18-5-21) и гранта РФФИ (№ 16-35-00278 мол_а).

Литература

1. Атлас пермских углей Печорского бассейна / В. П. Куклев, И. В. Пичугин, А. В. Подмарков и др. М.: Научный мир, 2000. 232 с.
2. Калмыков Г. С., Летуневский В. Н. Стадии катагенеза и палеотемпературы по отражательной способности витринита в Тимано-Печорской провинции // Геология и нефтегазосность северных районов Тимано-Печорской провинции. М., 1979. С. 89—97.
3. Котик О. С., Котик И. С. Углепетрография и геохимия органического вещества отложений силовской свиты р. Сырьяга (юго-восток Коротаихинской впадины) // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Материалы IV Всерос. молодеж. геолог. конф. Уфа: ООО «Альфа-реклама», 2016. С. 281—283.
4. Мakedонов А. В. История угленакопления в Печорском бассейне. Л.: Наука, 1965. 248 с.
5. Органическая геохимия и нефтегазосность пермских отложений севера Предуральяского прогиба / Л. А. Анищенко, С. С. Клименко, Н. Н. Рябинкина и др. СПб.: Наука, 2004. 214 с.
6. Процько О. С., Анищенко Л. А. Распределение инертинита в различных толщах перми Тимано-Печорского бассейна // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли: Материалы V Всерос. литолог. совещ. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. С. 189—192.
7. Процько О. С. Условия формирования Неченского угольного пласта (южная часть Печорского бассейна) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2011. № 3. С. 7—11.
8. Тимано-Печорский седиментационный бассейн: Атлас геологических карт / Н. И. Никонов, В. И. Богацкий, В. В. Мартынов и др. Ухта: ТП НИЦ, 2000. 64 с.

9. Угольная база России. Том 1. Угольные бассейны и месторождения европейской части России / Под ред. В. Ф. Череповского. М: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 483 с.

10. Угленосная формация Печорского бассейна / Отв. ред. В. А. Дедеев. Л.: Наука, 1990. 176 с.

11. Sykorova I., Pickel W., Christanis K., Wolf M., Taylor G. H., Flores D. Classification of huminite — ICCP System 1994. 2005.

References

1. Atlas permskikh uglei Pechorskogo basseina (Atlas of Permian coal of Pechora basin). V. P. Kuklev, I. V. Pichugin, A. V. Podmarkov et al. Moscow, Nauchnyi mir, 2000, 232 p.
2. Kalmykov G. S., Letunevskii V. N. *Stadii katageneza i paleotemperaturny po otrazhatel'noi sposobnosti vitrinita v Timano-Pechorskoi provintzii* (Stages of a catagenesis and paleotemperature on reflectance to ability of a vitrinite in the Timan-Pechora basin). *Geologiya i neftegazonosnost severnykh raionov Timano-Pechorskoi provintzii*. Moscow, 1979, pp. 89—97.
3. Kotik O. S., Kotik I. S. *Uglepetrografiya i geokhimiya organicheskogo veschestva otlozhenii silovskoi svity reki Syr'yaga (yugo-vostok Korotaikhinskoi vpadiny)* (Coal petrography and geochemistry of organic substance of deposits of silovsky series on the river Syryaga (southeast of the Korotaikhinsky depression)). *Geologiya, geoekologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredel'nykh territorii*. Proceedings. Ufa: ООО «Alfa-reklama», 2016, pp. 281—283.
4. Makedonov A. V. *Istoriya uglenakopleniya v Pechorskom basseine* (History of coal accumulation in the Pechora basin). Leningrad: Nauka, 1965, 250 p.
5. *Organicheskaya geokhimiya i neftegazonosnost permskikh otlozheniy severa Predural'skogo progiba* (Organic geochemistry and hydrocarbon potential of the Permian deposits of the North Pre-Ural Foredeep). L. A. Anishchenko, S. S. Klimenko, N. N. Ryabinkina et al. Saint-Petersburg: Nauka, 2004, 214 p.
6. Protsko O. S., Anishchenko L. A. *Raspredelenie inertnitykh v razlichnykh tolschakh permi Timano-Pechorskogo basseyna* (Inertinite distribution in different Permian strata of the Timan-Pechora Basin). *Tipy sedimentogeneza i litogeneza i ikh evolyutsiya v istorii Zemli*. Proceedings. Ekaterinburg, 2008, pp. 189—192.
7. Protsko O. S. *Usloviya formirovaniya Nenchenskogo ugolnogo plasta (yujnaya chast Pechorskogo basseina)* (Conditions of formation of the Nenchensky coal layer (southern Pechora basin)). *Vestnik of Institute of geology of Komi SC UB RAS*, 2011, No. 3, pp. 7—11.
8. *Timano-Pechorskiy sedimentatsionnyy basseyn: Atlas geologicheskikh kart* (Timan-Pechora sedimentary basin: Atlas of Geological Maps). N. I. Nikonov et al. Ukhta, TPNITs, 2000. 64 p.
9. *Ugolnaya baza Rossii. Tom 1. Ugolnye basseini i mestorojdeniya evropeiskoi chasti Rossii* (The coal base of Russia. Volume 1. The coal basins and deposits of the European part of Russia). Moscow, Geoinformmark, 2000, 483 p.
10. *Uglenosnaya formatsiya Pechorskogo basseyna* (Pechora coal formation). Ed. V. A. Dedeev. Leningrad: Nauka, 1990, 176 p.
11. Sykorova I., Pickel W., Christanis K., Wolf M., Taylor G. H., Flores D. Classification of huminite — ICCP System 1994, 2005.

ВОЗРАСТ ГОРИЗОНТОВ НИЖНЕГО СИЛУРА ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Т. М. Безносова¹, В. Ю. Лукин¹, П. Мянник²

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

²Институт геологии Таллинского технического университета, Таллин
peer.mannik@ttu.ee

Результаты палеонтологических, биохемотратиграфических и седиментологических исследований силурийских отложений на западном склоне Приполярного Урала и поднятии Чернышева показали ошибочность отнесения маршрутинского горизонта и нижней части устьдурнаюского горизонта к венлоку, как это принято в существующей стратиграфической схеме Урала. Граница лландовери и венлока установлена нами в средней части устьдурнаюского горизонта по исчезновению конодонтов рода *Apsidognathus* и появлению брахиопод рода *Spirinella*. Сравнение данных по фаунистической и литологической последовательности в пограничных толщах лландовери и венлока на Приполярном Урале, в Эстонии и Северной Земле свидетельствуют о том, что на исследуемой территории нижняя часть венлока отсутствует и значительный перерыв разделяет устьдурнаюский горизонт на две толщи, нижняя из которых включает лландоверийские, а верхняя — венлокские остатки фауны. В связи с этим предлагается нижнюю часть устьдурнаюского горизонта (нижнюю подсвиту устьдурнаюской свиты) с конодонтами *Apsidognathus* включить в состав маршрутинского горизонта лландоверийского яруса, верхнюю часть устьдурнаюского горизонта (верхнюю подсвиту устьдурнаюской свиты) выделить в новый горизонт с названием «войвывский» в составе венлокского яруса и название «устьдурнаюский горизонт» в дальнейшем не использовать.

Ключевые слова: стратиграфическая схема, лландовери, венлок, войвывский горизонт, брахиоподы, конодонты.

THE AGE OF SILURIAN REGIONAL STAGES OF EUROPEAN NORTH-EASTERN RUSSIA

T. M. Beznosova¹, V. Yu. Lukin¹, P. Männik²

¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktryvkar

²Institute of Geology at Tallin University of Technology, Tallin

Results of palaeontological, biogeochemical and sedimentological studies of Silurian strata in the western Subpolar Urals and on the Chernyshev Swell revealed that assignment of the Marshrut Regional Stage and the lower part of the UstDurnayu Regional Stage to Wenlock, as it is indicated in the latest stratigraphical scheme, is not correct. Disappearance of the conodont *Apsidognathus* and appearance of brachiopod *Spirinella nordensis* indicate that the Llandovery—Wenlock boundary lies in the middle part of the UstDurnayu Regional Stage. Comparative analysis of palaeontological and lithological data from the Subpolar Urals, Estonia and Severnaya Zemlya suggest that the strata corresponding to the lowermost Wenlock are missing in the study region. The gap recognized divides the UstDurnayu Region Stage in two, lower and upper parts. Here, we propose to include the lower part of the stage into the Marshrut Regional Stage (as its upper part), to rename the upper part of it as Vojvyv Regional Stage, and not to use the name UstDurnayu for a regional stage in future.

Keywords: stratigraphical scheme, Llandovery, Wenlock, Vojvyv Regional Stage, brachiopod, conodont.

Введение

На западном склоне Приполярного Урала маршрутинский и устьдурнаюский горизонты вскрываются в непрерывной последовательности в бассейне р. Кожым, в обнажении 217, которое является стратотипическим разрезом названных горизонтов и одноименных свит (рис. 1). В монографии «Опорные разрезы верхнего ордовика и нижнего силура Приполярного Урала» отмечено, что в составе устьдурнаюской свиты обособляются две литологические пачки, или две подсвиты, отражающие два этапа седиментации. Считалось, что в стратотипическом разрезе маршрутинский и устьдурнаюский горизонты обнажены в полном объеме. Однако позже выяснилось, что в полном объеме вскрывается только маршрутинский горизонт, а устьдурнаюский горизонт представлен лишь нижней его частью. Отложения верхней части устьдурнаюского горизонта и контакт с отложениями лудлова в этом разрезе не обнажены [1].

Маршрутинский и устьдурнаюский горизонты как самостоятельные подразделения венлока силурийской региональной стратиграфической шкалы были установлены А. И. Антошкиной, Т. М. Безносовой и С. В. Мельниковым [10]. Эти горизонты соответствуют седельскому «горизонту» А. И. Першиной [11], утвержденному в стратиграфической схеме Урала в ранге надгоризонта. Контакт филиппельского и маршрутинского горизонтов был скоррелирован с границей лландовери и венлока [9].

Следует отметить, что еще до принятия Уральской стратиграфической схемы имелись данные, указывающие на существование проблемы определения возраста некоторых горизонтов силура в Тимано-Североуральском регионе. Так, при изучении коллекций уральских конодонтов нижнего силура П. Мянник отмечал, что отложения маршрутинского и нижней части устьдурнаюского горизонтов включают конодонты, в том числе род *Apsidognathus*, распространение которых связано только с

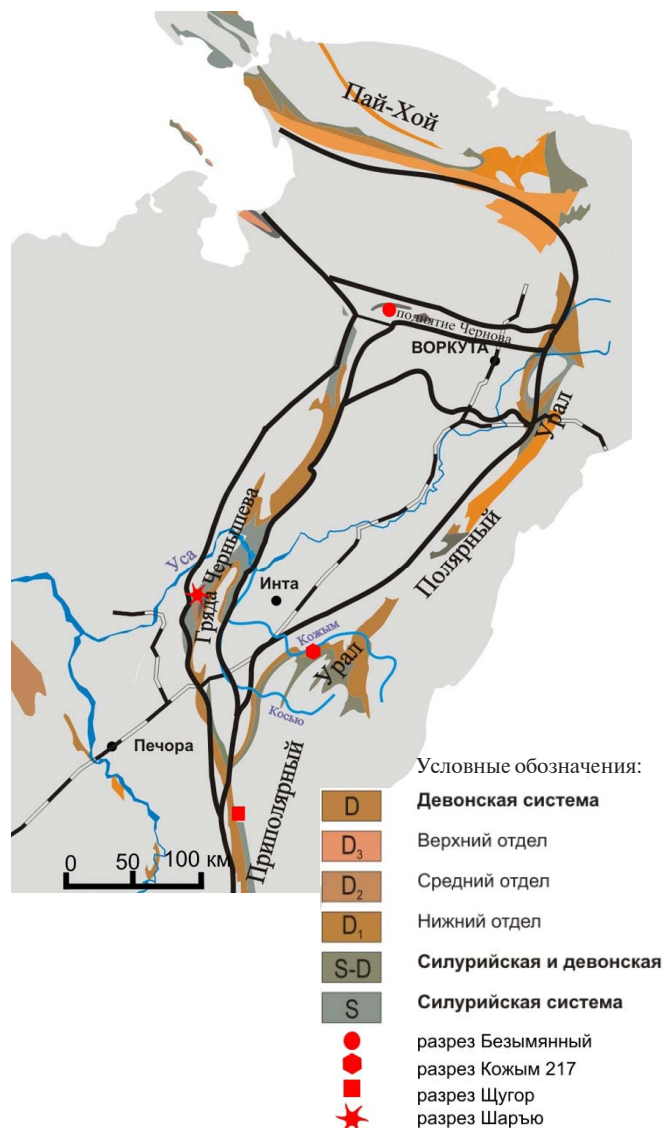


Рис. 1. Местоположение разрезов пограничных отложений лландовери и венлока

Fig. 1. Location of Llandoveryan/Wenlockian boundary deposits

поздним лландовери. Именно по исчезновению этого рода определяется рубеж лландовери и венлока в настоящее время во многих разрезах мира [7, 17]. Существующие трудности определения границ крупных стратон в Тимано-Североуральских разрезах нередко связаны с отсутствием непрерывной фаунистической охарактеризованности разновозрастных толщ и четких литологических маркеров, а также часто наблюдаемой плохой сохранностью ископаемых остатков фауны в широко развитых отложениях мелководных фаций.

Маршрутинский горизонт характеризуется комплексом брахиопод регионального распространения – *Fardenia flabellata* Beznosova, *Protatrypa inflata* Beznosova, *Leptaena* sp., *Atrypa* sp., который имеет значение для корреляции этих отложений в Тимано-Североуральском регионе, но не позволяет определить их возраст [2, 4].

Устьдурнаюский горизонт, как уже отмечено, подразделяется на две части [10], или две подсвиты [6]. Нижняя часть содержит мало остатков фауны. Для этой части разреза характерно обилие строматолитовых образований, чередующихся с прослоями строматопороидей, среди ко-

торых выделяется маломощный прослой со скоплениями фрагментов гастропод, ругоз, табулят, остракод и члеников криноидей, а также несколько прослоев с трещинами усыхания и поверхностями перерывов. Брахиоподы *Fardenia flabellata* в этой части разреза встречаются редко.

Верхняя часть устьдурнаюского горизонта охарактеризована брахиоподами *Spirinella nordensis* (Lashenko), *Atrypoidea linguata* (Bush), *Atrypa* sp., *Hyattidina* sp. Присутствие брахиопод *S. nordensis* и *A. linguata* позволяет определить венлокский возраст этой части горизонта [8, 14]. Этот вывод согласуется с данными распространения конодонтов: вид *S. nordensis* появляется в разрезе выше уровня исчезновения рода *Apsidognathus* (рис. 2) [2].

Для проверки новых результатов биостратиграфической датировки отложений и в целях получения дополнительных критериев определения границы лландовери и венлока в Тимано-Североуральском регионе было проведено изучение изменений соотношения изотопов углерода ($\delta^{13}\text{C}$) в разрезе силура западного склона Приполярного Урала (рис. 3). Известно, что ранневенлокское позитивное отклонение значений $\delta^{13}\text{C}$, соответствующее событию Иревикен и интервалу непосредственно выше его, является глобальным. Определение этого интервала в изученных разрезах дало бы дополнительные критерии для уточнения уровня границы лландовери и венлока. Проведенное изучение $\delta^{13}\text{C}$ из западноуральских опорных разрезов и сравнение их с результатами геохимических исследований разрезов Эстонии показало, что в разрезе силура западного склона Приполярного Урала ранневенлокское позитивное отклонение не проявляется [5, 16].

Анализ биостратиграфических, событийных и хемотратиграфических данных из разных регионов и проведенная корреляция изученных нижнесилурийских разрезов указывают на отсутствие отложений нижнего венлока на территории западного склона Приполярного Урала и на существование значительного перерыва в осадконакоплении, который приходится на среднюю часть разреза устьдурнаюского горизонта [2]. Полученные данные о наличии перерыва между отложениями лландовери и венлока и уточнение возрастных датировок для региональных стратиграфических подразделений нижнего силура позволили решить проблему, связанную с корреляцией основных этапов развития Тимано-Североуральского палеобассейна с другими палеобассейнами. Седиментологические исследования показали, что этапы развития Тимано-Североуральского палеобассейна в раннем силуре совпадают с этапами развития Балтийского и Североземельского бассейнов. Понижение уровня моря на рубеже лландовери и венлока в Эстонии соотносится с таким же событием, зафиксированным в средней части разреза устьдурнаюского горизонта в Западно-Уральском регионе и в средней части самойловичской свиты на Северной Земле [5, 16].

Обобщение всех ранее собранных и вновь полученных палеонтологических, седиментологических, био- и хемотратиграфических данных из разрезов в бассейнах рек Кожым и Щугор на западном склоне Приполярного Урала и р. Шарью на поднятии Чернышева дает убедительные палеонтологические доказательства принадлежности отложений маршрутинского горизонта и нижней части устьдурнаюского горизонта (нижней подсвиты) к лландовери, а отложений верхней толщи устьдурнаюского горизонта (верхней подсвиты) — к венлоку (рис. 3) [1, 2, 13, 16–18].

На основании вышеуказанного было предложено нижнюю часть устьдурнаюского горизонта, заключающую ко-

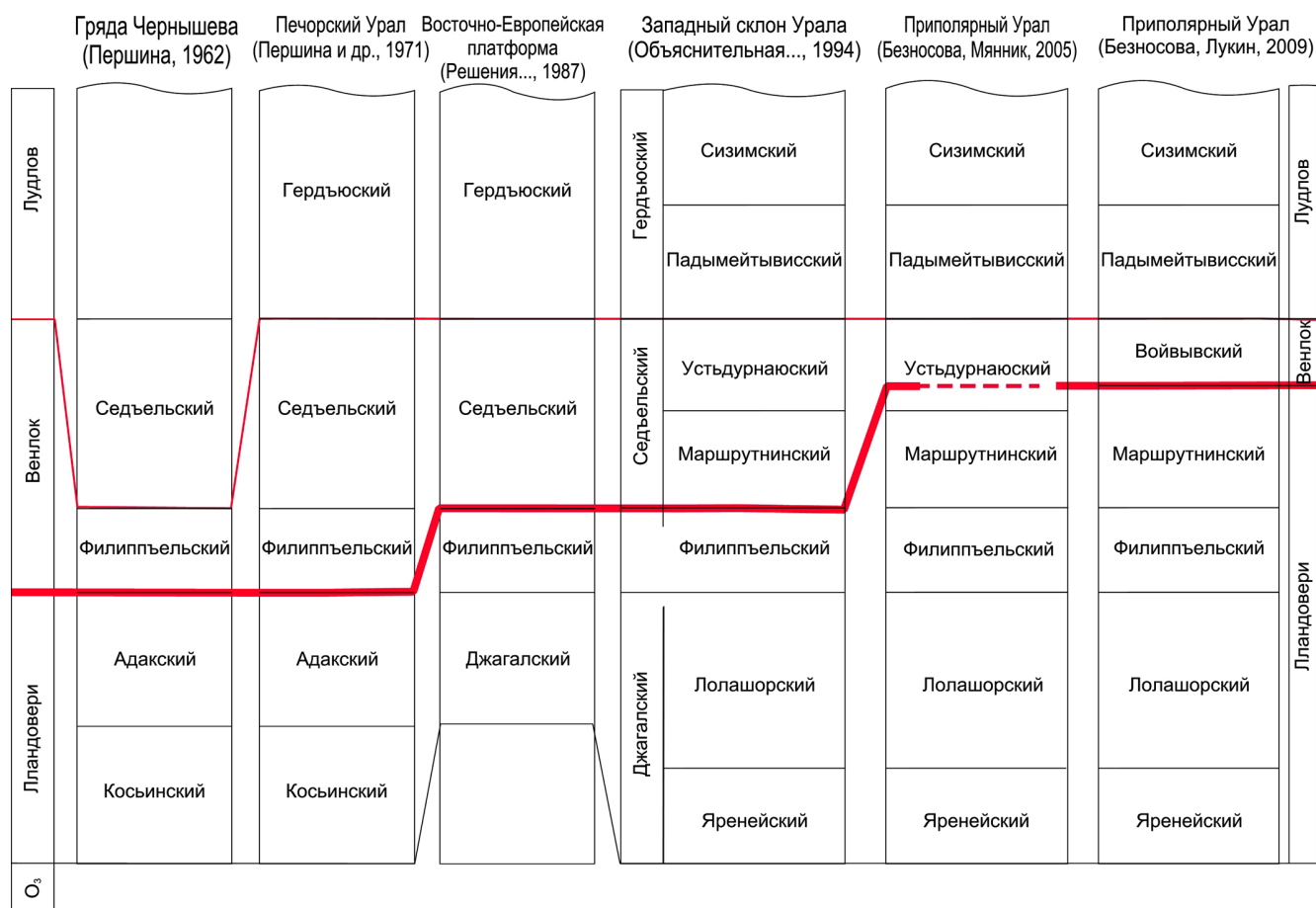


Рис. 2. Положение границы лландовери и венлока в разрезах западного склона Приполярного Урала: основанное на распространении конодонтов (сплошная линия); принятое в стратиграфической схеме Урала (штриховая линия) (Объяснительная записка..., 1994)

Fig. 2. Location of Llandoveryan/Wenlockian boundary in western slopes of Subpolar Urals based on conodont distribution (solid line); location of Llandoveryan/Wenlockian boundary as accepted in Urals stratigraphic map (dashed line) (Explanatory note..., 1994)

нодонты *Apsidognathus*, включить в состав маршрутинского горизонта лландоверийского яруса [2, 3].

Лландоверийский возраст маршрутинского горизонта в его новейшем понимании определяется по интервалу распространения конодонтов *Apsidognathus* и брахиопод *Fardenia flabellata*. Толщу составляют преимущественно открытошельфовые известняки и доломиты массивного сложения с колониями строматопороидей *Ecclimadictyon tchernovi* (Riabinin.), *E. robustus* Nestor, табуляты *Palaeofavosites* cf. *alveolaris* (Goldfussi), *Favosites moyeroensis* Sokolov et Tesakov, *Multisolenia nikiforovi* Sokolov et Tesakov, ругозами *Miculiella annae* Ivnsk, брахиоподами *Fardenia flabellata* T. Beznosova, *Protatryha inflata* T. Beznosova, *Leptaena* sp., *Atrypa* sp. и конодонтами *Apsidognathus*. Эта часть маршрутинского горизонта формировалась во время трансгрессивной стадии развития Тимано-Североуральского морского бассейна.

В характере отложений верхней части маршрутинского горизонта прослеживается регрессивная направленность. Нижнюю часть разреза составляют крайне мелководные отложения с обилием поверхностей перерывов, с прослоями и линзами известняков, содержащих мелкие галечки и знаки волновой ряби. Выше наблюдается чередование тонко-

слоистых строматолитовых и кораллово-строматопоратых известняков и доломитов с маломощными прослоями известняков биотурбированных, водорослевых, содержащими прослои гравелитов, с онколитовыми образованиями, трещинами усыхания и строматопоратых биостромами, а также прослоями биокластовых известняков, заключающих фрагменты раковин гастропод и остракод. Мощность маршрутинского горизонта в стратотипическом разрезе на р. Кожым составляет 130 м, на р. Щугор — 180 м, на гряде Чернышева (р. Шарью) — более 160 м.

Верхнюю толщу устьдурнауского горизонта с конодонтами *Ctenognathodus kozhimicus* (Melnikov), табулятами *Parastriatopora commutabilis* Klaaman, брахиоподами *Spirinella nordensis* (Ljashenko), *Hyattidina* sp., остракодами *Herrmannina insignis* Abushik., *Gibberella praetiosa* Abushik, венлокский возраст которых не вызывает сомнений, предлагается выделить в самостоятельное стратиграфическое подразделение — войвывский горизонт. Название «устьдурнауский» для горизонта в дальнейшем не использовать и, согласно положению Стратиграфического кодекса России [12]*, исключить из региональной стратиграфической схемы силура. В соответствии с кодексом свита

*Изменение стратиграфического объема подразделения более чем на 1/3 влечет за собой отказ от сохранения названия такого подразделения, выбор нового подразделения и нового наименования.

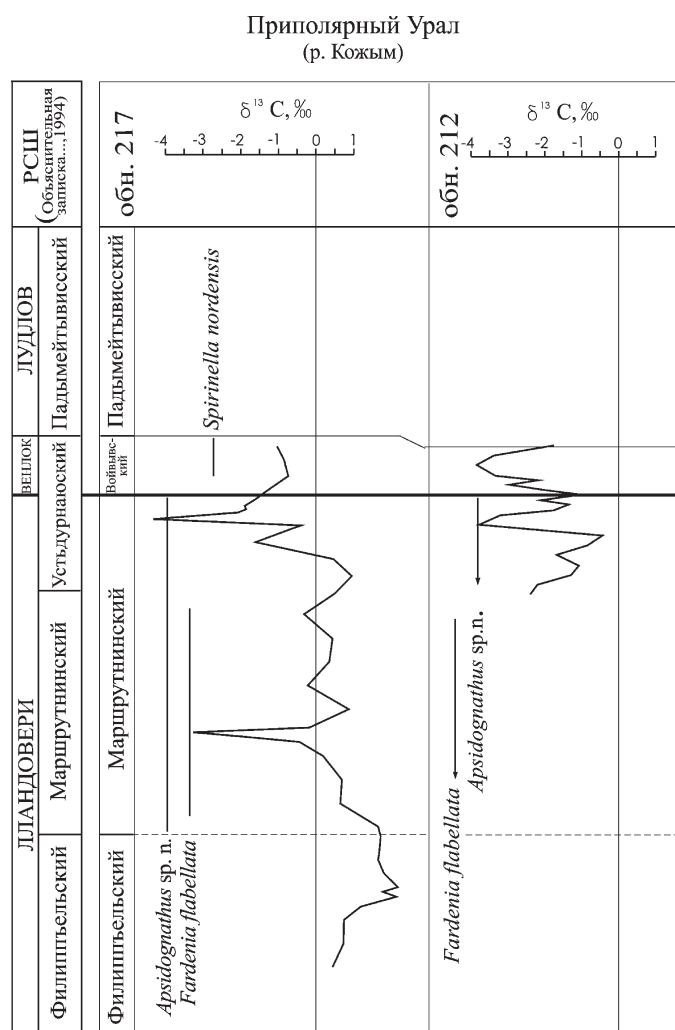


Рис. 3. Изменение представлений о положении границы лландовери — венлока о возрасте горизонтов нижнего силура и границе лландовери и венлока на западном склоне Приполярного Урала

Fig. 3. Change of ideas about location of Llandoveryan/Wenlockian boundary and age of Lower Silurian and Llandoveryan/Wenlockian boundary in western slope of Subpolar Urals)

может содержать разновозрастные отложения, поэтому устьдурная свита останется в прежнем объеме устьдурной, подразделенной на две подсвиты — верхнюю и нижнюю.

Стратотипический разрез войвывского горизонта находится на Приполярном Урале, в бассейне р. Щугор, в 1.2 км от устья р. Гердью, ниже по течению. Название «войвывский» («войвыв» в переводе с коми — север) дано горизонту по возвышенности Войвыв Парма на западном склоне Приполярного Урала [3]. Контакт маршрутинского и войвывского горизонтов коррелируется с границей между лландоверийским и венлокским ярусами (рис. 2). Мощность войвывского горизонта в стратотипе 62 м. Палеонтологически доказанные отложения войвывского горизонта вскрываются на западном склоне Приполярного и Северного Урала, поднятиях Чернышева и Чернова.

Сообщества брахиопод войвывского горизонта существенно отличаются от сообществ маршрутинского горизонта таксономическим составом, специфической морфологической и экологической направленностью [1]. Описание стратотипического горизонта готовится к печати.

Выводы

Результаты исследований показали ошибочность отнесения маршрутинского горизонта и нижней половины устьдурной свиты к венлокскому ярусу региональной стратиграфической схемы Урала и необходимость выбора нового подразделения в венлоке.

Нижнюю часть устьдурной свиты, заключающую конодонты *Apsidognathus* sp., предложено включить в состав маршрутинского горизонта лландоверийского яруса. Верхнюю часть горизонта рекомендовано выделить как новое стратиграфическое подразделение венлокского возраста, в ранге горизонта с названием «войвывский» и стратотипом на западном склоне Приполярного Урала, в бассейне р. Щугор. Название «устьдурная свита» в дальнейшем предлагается не использовать.

Характерными представителями фаунистических ассоциаций войвывского горизонта являются табуляты *Parastriatopora commutabilis* Klaaman, брахиоподы *Spirinella nordensis* (Ljashenko), остракоды *Herrmannina insignis* Abushik, *Gibberella praetiosa* Abushik и конодонты *Ctenognathodus kozhimicus* (Melnikov).

Анализ биохемотратиграфических и событийных данных, а также проведенная корреляция нижнесилурских отложений западного склона Урала, Эстонии и Северной Земли позволили обосновать отсутствие отложений нижнего венлока на территории западного склона Приполярного Урала и существование перерыва в осадконакоплении, который разделяет маршрутинский и войвывский горизонты.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований РАН проект № 15-18-5-37 «Тимано-Североуральский палеобассейн в палеозое. Закономерности динамики биотических комплексов, палеобиогеография и палеоклиматология».

Литература

- Безносова Т. М. Развитие сообществ брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтика. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 116 с.
- Безносова Т. М., Мянник П. Граница лландовери и венлока на севере палеоконтинента Балтика // Доклады АН, 2005. Т. 401. № 5. С. 1—4.
- Безносова Т. М., Лукин В. Ю. Войвывский горизонт — новое стратиграфическое подразделение нижнего силура // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. Т. II. С. 15—18.
- Безносова Т. М., Соколова Л. В. Пограничные отложения лландовери и венлока в опорном разрезе силура центральной части гряды Чернышева // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 12. С. 24—30.
- Матухин Р. Г., Меннер В. В., Абушик и др. Стратиграфия силура и девона архипелага Северная Земля. Новосибирск, 1999. 174 с.
- Мельников С. В. Конодонты ордовика и силура Тимано-Североуральского региона. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 136 с.
- Мянник П. Г. Конодонты ордовика и силура // Матухин Р. Г., Меннер В. В. Стратиграфия силура и девона архипелага Северная Земля. Новосибирск, 1999. С. 110—119.
- Модзалевская Т. Л., Безносова Т. М. Некоторые силурские спирифериды Печорского Урала и островов

Советской Арктики // Фанерозой Европейского Севера России. Сыктывкар, 1992. С. 4—16. (Тр. Ин-та геол. Коми НЦ УрО РАН. Вып. 75).

9. *Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой)* / Сост. Н. Я. Анцыгин. Екатеринбург, 1994. 152 с.

10. *Опорные разрезы верхнего ордовика и нижнего силура Приполярного Урала* / Коми филиал АН СССР. 1987. 34 с.

11. *Першина А. И.* Силурийские и девонские отложения гряд Чернышева. М.; Л.: Наука, 1962. 122 с.

12. *Стратиграфический кодекс России*. 3-е изд. СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. 96 с. (Межведомственный стратиграфический комитет России. ВСЕГЕИ).

13. *Abushik A. F.* Silurian – earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 112—125.

14. *Beznosova T. M.* Silurian brachiopods in the Timan-Northern Ural region: zonation and palaeoecology // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 85—103.

15. *Männik P.* Konodonty ordovika i silura (Ordovician and Silurian conodonts) Stratigrafiya silura i devona arhipelaga Severnaya Zemlya. Editor R. G. Matuhin, V. Vl. Menner. Novosibirsk, 1999, pp. 110—120.

16. *Männik P.* Some comments on the Telychian-early Sheinwoodian conodont faunas, events and stratigraphy. Acta Palaeontologica Sinica. 2007. Vol. 46 (Suppl.). P. 305—310.

17. *Männik P. Martma T.* Llandovery-Wenlock boundary in the Subpolar Urals // Palaeozoic Tectonics, Evolution of the Basins and faunas. Syktyvkar, 2000. P. 64.

18. *Männik P., Antoshkina A. I., Beznosova T. M.* The Llandovery-Wenlock boundary in the Russian Arctic // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. Vol. 49. № 2. P. 104—111.

19. *Melnikov S., Zhemchugova V.* Lower Silurian stratigraphy of the Timan-Northern Ural region and eustatic fluctuation // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 85—103.

References

1. *Beznosova T. M.* Soobshchestva brachiopod i biostratigrafiya verhnego ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoi okrainy paleokontinenta Baltiya (Brachiopod communities and biostratigraphy of Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of North-Eastern margin of Baltica paleocontinent). Ekaterinburg, 2008, 218 pp.

2. *Beznosova T. M., Männik P.* Granitica Llandovery i wenloka na severe paleokontinenta Baltica (Llandovery-Wenlock boundary of the Northern part of the paleocontinent Baltica) // Doklady Akademii nauk, 2005. T. 401. № 5. S. 1—4.

3. *Beznosova T. M., Lukin V. Yu.* Vojvyvskij gorizont — novoe stratigraphicheskoe podrazdelenie nizhnego silura (Vojvyvskij stage as new Lower Silurian stratigraphical unit) // Geologiya i mineral'nye resursy evropejskogo severo-vostoka Rossii: materialy XV Geologicheskogo s'ezda Respubliki Komi. Syktyvkar: Institut geologii Komi NC UrO RAN, 2009. T. II. S. 15—18.

4. *Beznosova T. M., Sokolova L. V.* Pogranichnye otlozheniya Llandovery i wenloka v opornom razreze silura tcentral'noj chaste gryady Chernysheva (Llandovery-Wenlock boundary from Silurian central part Chernyshev Ridge) // Vestnik Instituta geologii Komi NC, 2015. № 12. S. 24—30.

5. *Matukhin R. G., Menner V. Vl., Abushik A. Ph. i dr.* Stratigrafiya silura i devona archipelago Severnaya Zemlya (Silurian and Devonian stratigraphy of the archipelago Severnaya Zemlya). Novosibirsk, 1999. 174 s.

6. *Melnikov S. V.* Konodonty ordovika i silura Timano-Severoural'skogo regiona (Ordovician and Silurian conodonts Timano-Northern Urals region). Spb.: 1999. 136 s.

7. *Männik P.* Konodonty ordovika i silura (Ordovician and Silurian conodonts) // Stratigrafiya silura i devona arhipelaga Severnaya Zemlya. Editor R. G. Matuhin, V. Vl. Menner. Novosibirsk, 1999. S. 110—120.

8. *Modzalevskaya T. L., Beznosova T. M.* Nekotorye silurijskie speriferidy Pechorskogo Urala i ostrovov Sovetskoy Arktiki (Some Silurian Speriferidae from Silurian Pechorskij Ural and Soviet Union Arctic Islands) // Phanerozoj Evropejskogo Severa Rossii. Syktyvkar, 1992. S. 4—16 (Trudy Instituta geologii Komi NC UrO RAN. Vypusk 75).

9. *Obyasnitelnaya zapiska k stratigraficheskim shemam Urala (dokembrii, paleozoi)* (Explanatory note to Ural stratigraphic maps). Composed by N. Ya. Antsygin. Ekaterinburg, 1994, 95 pp.

10. *Opornye razrezy verhnego ordovika i nizhnego silura Pripolyarnogo Urala* (Upper Ordovician and Silurian outcrops of Subpolar Ural). Komi filial AN SSSR, 1987. 34 s.

11. *Pershina A. I.* Silurijskie i devonskie otlozheniya gryady Chernysheva (Silurian and Devonian deposits of Chernyshev Ridge). Moscow, Leningrad, Nauka, 1962, 122 pp.

12. *Stratigraphicheskij kodeks Rossii. Izdanie tretie.* (Russian stratigraphic code. Third edition). SPb.: Izdatel'stvo VSEGEI, 2000. 96 s. (Mezhvedomstvennyj stratigraphicheskij komitet Rossii. VSEGEI).

13. *Abushik A. F.* Silurian — earliest Devonian ostracode biostratigraphy of the Timan-Northern Ural region // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 112—125.

14. *Beznosova T. M.* Silurian brachiopods in the Timan-Northern Ural region: zonation and palaeoecology // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 85—103.

15. *Männik P.* Some comments on the Telychianearly Sheinwoodian conodont faunas, events and stratigraphy. Acta Palaeontologica Sinica. 2007. Vol. 46 (Suppl.). P. 305—310.

16. *Männik P. Martma T.* Llandovery-Wenlock boundary in the Subpolar Urals // Palaeozoic Tectonics, Evolution of the Basins and faunas. Syktyvkar, 2000. P. 64.

17. *Männik P., Antoshkina A. I., Beznosova T. M.* The Llandovery—Wenlock boundary in the Russian Arctic // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. Vol. 49. № 2. P. 104—111.

18. *Melnikov S., Zhemchugova V.* Lower Silurian stratigraphy of the Timan-Northern Ural region and eustatic fluctuation // Proc. Estonian Acad. Sci. Geol. 2000. Vol. 49. № 2. P. 85—103.



ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛУРИЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТАЛЬБЕЙСКОГО БЛОКА ГРЯДЫ ЧЕРНЫШЕВА

И. С. Котик¹, И. И. Даньщикова¹, О. С. Котик¹, О. В. Валяева^{1,2},
С. В. Можегова³, Л. В. Соколова¹

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

²СГУ им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

³ВНИГНИ, Москва
mozhegova@vnigni.ru

Представлены результаты литологических и геохимических исследований силурийских отложений Тальбейского блока гряды Чернышева, актуальность изучения которых связана с высокими перспективами на поиски в них залежей углеводородов. По особенностям строения и литологического состава в разрезах скважин выделены три толщи: сульфатно-карбонатная, карбонатная и глинисто-карбонатная. В сульфатно-карбонатной и карбонатной толщах нижнего силура развиты преимущественно бедные нефтегазоматеринские породы ($C_{org} < 0.3\%$, HI — 4—173 мг УВ / г C_{org}). Породы со средним и богатым генерационным потенциалом ($C_{org} 0.5—6\%$, HI — 224—580 мг УВ / г C_{org}) выделены в глинисто-карбонатной толще верхнего силура. Содержание битумоидов увеличивается от карбонатных к глинисто-карбонатным разностям пород, составляя 0.01—0.02 % и 0.03—0.16 % соответственно. Распределение *n*-алканов и изопреноидов в углеводородной фракции битумоидов отражает участие морского сапропелевого органического вещества в составе исходной биомассы. Степень зрелости органического вещества силурийских отложений отвечает главной зоне нефтегенерации и изменяется по площади, достигая градаций $МК_{1-2}$ в северной и $МК_{2-3}$ в южной частях Тальбейского блока.

Ключевые слова: силурийские отложения, органическое вещество, генерационный потенциал, битумоиды, *n*-алканы.

LITHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF SILURIAN DEPOSITS IN THE TALBEYSKY BLOCK OF CHERNYSHEV RIDGE

I. S. Kotik¹, I. I. Danshikova¹, O. S. Kotik¹, O. V. Valyaeva^{1,2}, S. V. Mozhegova³, L. V. Sokolova¹

¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Syktyvkar Pitirim Sorokin State University, Syktyvkar

³All-Russia research geological petroleum institute (VNIGNI), Moscow

The article presents the results of lithological and geochemical research of Silurian deposits in the Talbeysky block of Chernyshev ridge, which are one of the important objects to exploration for hydrocarbon deposits. Based on the structure and lithological composition of the deposits three series were defined in wells section: sulphate-carbonate, carbonate and argillo-carbonate. The Lower Silurian sulphate-carbonate and carbonate series contain mostly poor source rocks ($TOC < 0.3\%$, HI — 4—173 mg HC/g TOC). The Upper Silurian argillo-carbonate series contain the source rock with fair and good petroleum potential ($TOC = 0.5—6\%$, HI — 224—580 mg HC / g TOC). The bitumen contents increases from carbonate to argillo-carbonate rocks and varies 0.01—0.02 % and 0.03—0.16 %, respectively. The distributions of *n*-alkanes and isoprenoids in the hydrocarbon fraction of the studied bitumens show a marine sapropel organic matter in the initial biomass. The maturity of organic matter in Silurian deposits is main oil generation zone and varies on the studied area, ranging from gradations $МК_{1-2}$ in the north to $МК_{2-3}$ in the southern part of Talbeysky block.

Keywords: Silurian deposits, organic matter, generation potential, bitumens, *n*-alkanes.

Введение

Силурийские отложения в составе среднеордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса являются одним из основных объектов для поиска залежей углеводородов (УВ) в пределах гряды Чернышева. Проведенные здесь ранее ООО «Газпром переработка» геолого-разведочные работы и анализ накопленной геологической информации позволили дать положительную оценку перспективам нефтегазоносности центральной части гряды [3, 4, 5]. По результатам бурения по всему разрезу силурийских отложений отмечаются нефтенасыщенные ин-

тервалы, в керне по трещинам и кавернам наблюдаются выпоты нефти, а при опробовании в скв. 2-Адакская из верхнесилурийско-нижнедевонского интервала получен приток легкой нефти.

При оценке перспектив нефтегазоносности этого комплекса немаловажное значение имеет характеристика литолого-геохимических факторов, обуславливающих условия накопления органического вещества (ОВ), распределения в разрезе нефтегазоматеринских пород и их генерационных свойств. Полученные нами новые аналитические

данные с учетом исследований прошлых лет позволят дополнить сведения о литолого-петрографическом составе и углеводородном потенциале силурийских отложений.

Район и объекты исследований

Исследуемая территория расположена в пределах Тальбейского блока — структуры второго порядка в составе гряды Чернышева (рис. 1). Тальбейский блок представляет собой тектоническую пластину, надвинутую в восточном направлении на пермский орогенный комплекс Косью-Роговской впадины [4]. Поверхностью срыва служат соленосные отложения верхнего ордовика. Западная опущенная часть блока сложена пермско-триасовыми терригенными отложениями, а восточная, наиболее приподнятая, — интенсивно дислоцированными палеозойскими карбонатными отложениями, составляющими Пымвашорско-Харутскую и Нельнянжовскую чешуи. Поднадвиговая часть Тальбейской пластины образована теми же карбонатными отложениями.

Литолого-геохимические исследования проводились нами по скважинам 1-Воргамусюрская, 1-Харутамыльская, 1- и 2-Адакская, в которых с различной полнотой вскрываются силурийские отложения в автохтонном и ал-

лохтонном залегании. В общей сложности по всем скважинам было проанализировано 72 образца.

Литолого-петрографическая характеристика

Силурийские отложения представлены преимущественно карбонатными и глинисто-карбонатными разностями, сформированными в прибрежно-морских и мелководно-морских условиях [7]. Породы силурийского возраста без видимого перерыва залегают на сульфатно-карбонатных отложениях позднего ордовика и перекрываются толщами нижнего девона. Общая мощность отложений по изученным скважинам изменяется от 808 до 1100 м. По особенностям строения и литологического состава в разрезе снизу вверх выделяются три толщи: сульфатно-карбонатная, карбонатная и глинисто-карбонатная (рис. 2).

Сульфатно-карбонатная толща в наиболее полном объеме вскрыта в скважинах 1-Воргамусюрская (480 м) и 1-Адакская (260 м). Породы представлены ритмичным чередованием доломитизированных известняков и ангидритодолмитов (рис. 2, А). Доломиты вторичные, перекристаллизованные, с теневой органической структурой и строматолитовыми прослоями, неравномерно пористо-кавернозные. Каверны мелкие, чаще всего изолирован-

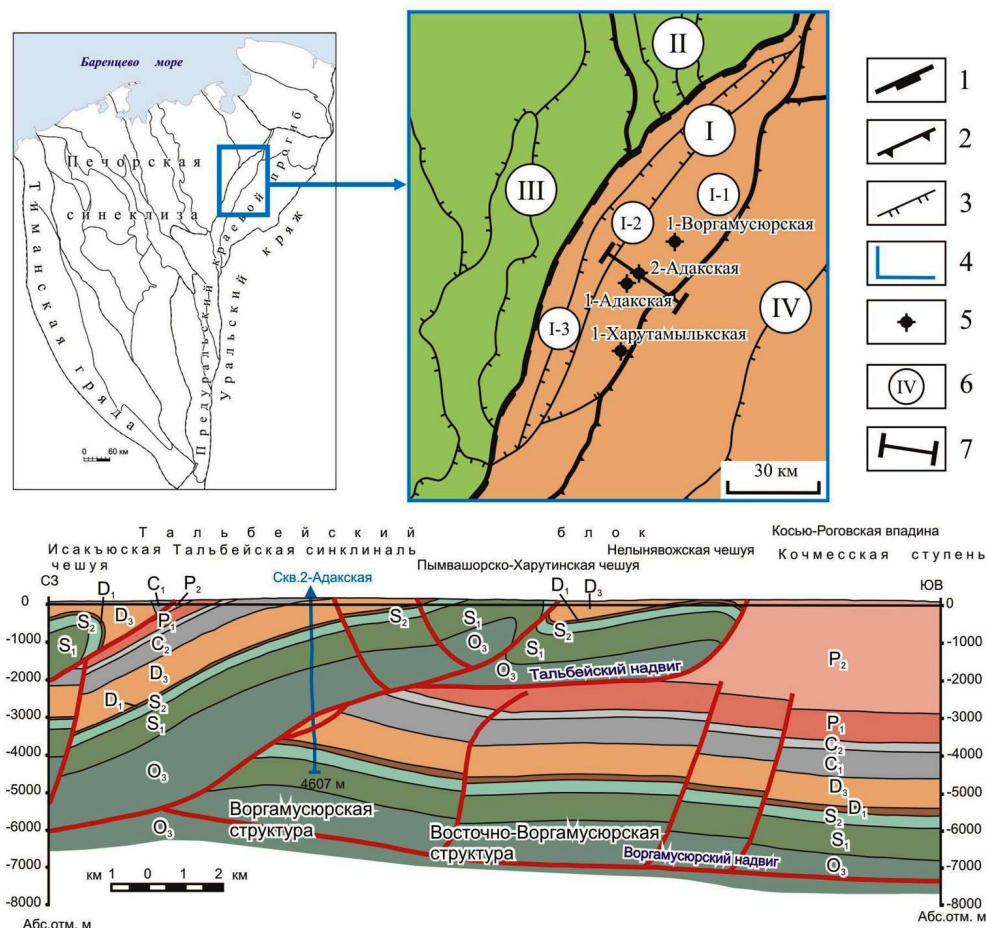


Рис. 1. Тектоническая карта района исследований (составлено по [4, 11] с изменениями): 1—3 — границы тектонических элементов: 1 — надпорядковых, 2 — первого порядка, 3 — второго порядка; 4 — район исследований; 5 — скважины; 6 — номера тектонических элементов, 7 — положение геологического разреза (по [4] с упрощениями). I — гряда Чернышева: I-1 — Тальбейский блок, I-2 — Адзъвавомская депрессия, I-3 — Хоседаюуский вал; II — Варандей-Адзъвинская структурная зона; III — Хорейверская впадина; IV — Косью-Роговская впадина

Fig. 1. Tectonic map of study area (according to [4, 11], with additions): 1—3 — boundaries of tectonic elements: 1 — superorder, 2 — first order, 3 — second order; 4 — research area; 5 — well; 6 — number of tectonic elements 7 — position of the geological section (according to [4], with additions). I — Chernyshev ridge: I-1 — Talbaysky block, I-2 — Adzavomskaya depression, I-3 — Hosedayusky swell; II — Varandey-Adzinskaya structural zone; III — Khoreyverskaya depression; IV — Kosyu-Rogovskaya depression

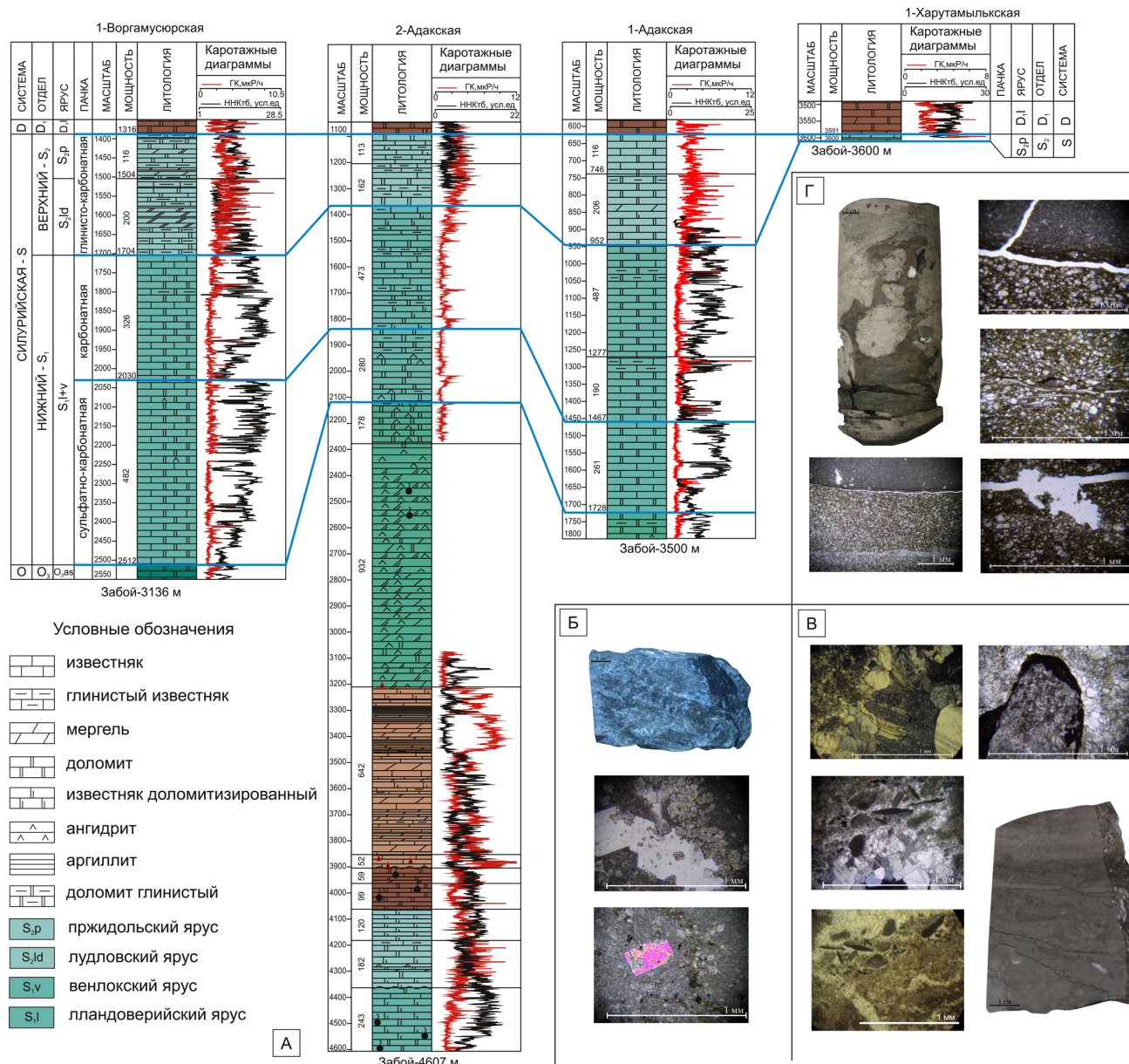


Рис. 2. Корреляция в разрезах скважин и литологический состав силурийских отложений Тальбейского блока: А — корреляция силурийских отложений в разрезах скважин (составлено по [4] с изменениями), Б — сульфатно-карбонатная порода (скв. 1-Воргамусюрская, гл. 2358, 2 м, обр. 23/2), В — доломит известковистый (скв. 1-Адакская, гл. 1292, 7 м, обр. 13), Г — аргиллит известковистый (скв. 2-Адакская, гл. 4192 м, обр. 50-46)

Fig. 2. Correlation in wells sections and lithological composition of Silurian deposits in the Talbeysky block: А — wells correlation of Silurian deposits (according to [4], with additions), Б — sulphate-carbonate rock (well 1-Vorgamysyurskaya, depth 2358, 2 m, sample 23/2), В — calciferous dolomite (well 1-Adakskaya, depth 1292, 7 m, sample 13), Г — calciferous argillite (well 2-Adakskaya, depth 4192 m, sample 50-46)

ные, заполненные новообразованным гипсом, ангидритом либо кальцитом. Известняки серые, доломитизированные, тонко-, мелкозернистые. В подошве толщи отмечаются прослои вторичных доломитов пятнисто-брекчиевидного облика. В шлифах таких пород часто отмечаются микроструктуры катаклазов и микститов.

В карбонатной толще мощностью 243—515 м выделяются две пачки (снизу вверх): доломитовая и глинисто-известняково-доломитовая. Нижняя пачка сложена доломитами серыми, вторичными, неравномерно окремненными, сульфатизированными, с каверново-поровыми участками (рис. 2, В). Пустотное пространство частично или полностью залечено ангидритом либо новообразованным кальцитом. Верхняя пачка толщи представлена преиму-

щественно пятнисто-комковатыми доломитизированными известняками и вторичными доломитами по илово-биоморфным известнякам. В кровле пачки отмечаются прослои глинистых известняков, обогащенных большим (20—30 %) содержанием терригенной примеси.

Глинисто-карбонатная толща, выделяемая в верхнесилурийской части разреза, хорошо выдержана по мощности (302—322 м). Снизу вверх здесь выделяются три пачки: доломитово-известняковая, доломитовая и глинисто-карбонатная. Нижняя пачка (110—150 м) представлена доломитизированными известняками с остатками остракод, мшанок, фрагментами полностью перекристаллизованных створок брахиопод и гастропод. В подчиненном количестве присутствуют известковые доломиты и прослои, обо-

гащенные глинистой примесью, в основном в кровле пачки. Средняя пачка (20—30 м) представлена большей частью вторичными доломитами, образованными по илово-биоморфно-детритовым известнякам с маломощными прослоями известняка и глинисто-алевритового материала. Органогенный детрит сложен обломками брахиопод, члеников криноидей, обрывками водорослей, створками остракод, единичными колониями мшанок. Породы в незначительной степени пиритизированные, сульфатизированные, участками трещиноватые и каверновые, с незначительными выпотами коричневой нефти. Верхняя пачка (250 м) состоит из глинисто-карбонатных пород. Известняки серые, биокластово-сгустковые, глинистые. Органические остатки представлены остракодами, мшанками, брахиоподами, табулятами, криноидеями и другими ископаемыми организмами, которые распределены равномерно или образуют скопления. Их содержание в породе составляет 65—80 %. В подчиненном количестве отмечаются вторичные доломиты. По всей пачке наблюдаются маломощные (1—4 см) глинисто-алевритовые прослои (рис. 2, Г).

На протяжении всего разреза в силурийских отложениях развиты стилолиты, заполненные глинисто-битуминозным материалом, трещиноватые и кавернозные участки, а также небольшие тектонические дислокации (складки, разрывы, зеркала скольжения) [10].

Геохимическая характеристика

Содержание ОВ, его генетический тип и степень катагенетической преобразованности являются важными показателями нефтегазогенерационных свойств пород и в целом определяют их углеводородный потенциал. На основании химико-битуминологических и пиролитических исследований в разрезе силурийских отложений выделяются различные классы нефтегазоматеринских пород (НГМП) — бедные, средние и богатые (табл. 1, рис. 3). Основными геохимическими характеристиками, определяющими класс НГМП, являются содержание в породе ОВ (C_{org} , %) и хлороформного битумоида (ХБА, %), величина генерационного потенциала ($S_1 + S_2$, мг УВ / г породы) и водородного индекса (НИ, мг УВ / г C_{org}).

Бедные НГМП выделены в основном в отложениях нижнего силура. Наиболее низкие концентрации $C_{org} < 0.1—0.3$ % установлены в известняках и доломитах.

Значения водородного индекса в этих породах составляет 4—173 мг УВ/г C_{org} , генерационный потенциал < 1 мг УВ/г породы (табл. 1, рис. 3). Средние и богатые НГМП приурочены к глинисто-карбонатным разностям пород, которые слагают верхнесилурийскую часть разреза. В мергелях, глинистых известняках и доломитах содержание C_{org} составляет 0.5—6 %. Генерационный потенциал ОВ пород повышается до 2—6, достигая 33 мг УВ/г породы, значения НИ составляют 224—580 мг УВ/г C_{org} (табл. 1, рис. 3).

Выход ХБА из силурийских пород также различен и увеличивается от карбонатных к глинисто-карбонатным разностям пород. В известняках и доломитах содержание битумоидов составляет 0.01—0.02 %. В глинисто-карбонатных породах их концентрация повышается до 0.03—0.16 %. Значения битумоидного коэффициента ($\beta_{ХБ}$), выраженного отношением ХБА к C_{org} , указывает на присутствие в породах как автохтонных, так и аллохтонных битумоидов (рис. 4, а). Во всех изученных разрезах скважин значения $\beta_{ХБ}$ для основной части образцов находятся в диапазоне 5—20 %, что характеризует их как автохтонные [1]. Аллохтонные битумоиды характеризуются повышенными значениями $\beta_{ХБ}$ (24—38 %), которые установлены для небольшого количества образцов в скважинах 1-Воргамусюрская и 1-, 2-Адакская. Аллохтонное битумонасыщение пород подтверждается также данными люминесцентно-битуминологического анализа. В ультрафиолетовом свете (УФ) в межзерновом пространстве, пустотах и стилолитовых швах диагностируются легкие, маслянистые и смолисто-асфальтеновые битуминозные компоненты (рис. 4, б) [6]. Исследования в УФ также показали, что в породах присутствует несколько генераций битумов, имеющих различное положение в пустотном пространстве. Это может указывать на неоднократное поступление битуминозных веществ с более поздним притоком легких маслянистых компонентов по стилолитовым швам.

Индивидуальный состав *n*-алканов и изопреноидов в составе алифатической фракции битумоида изучался методом газовой хроматографии. Среди изученных битумоидов выделяются две группы образцов, характеризующихся различными молекулярно-массовыми распределениями алканов нормального строения. К первой группе относятся битумоиды, в которых значительно преобладает доля среднемолекулярных *n*-алканов $C_{13}—C_{18}$, составляя 46—66 % (табл. 2). Гистограммы распределения алкановых уг-

Характеристика нефтегазоматеринских пород силурийских отложений

Geochemical characterization of the source rocks in Silurian deposits

Возраст Age	Литология Lithology	C_{org} TOC	$S_1 + S_2$	НИ	Тип ОВ OM type	Класс НГМП Class of source rocks
S_2	мергели marls	1.0—6.1 (5)*	6.6—33.4 (3)	387—580 (3)	I, I окисленный, II I, I oxydized, II	богатые rich
	глинистые известняки и доломиты argillaceous limestones and dolomites	0.5—0.9 (11)	~2 (5)	224—262 (5)		средние medium
S_1	известняки, доломиты limestones, dolomites	$< 0.1—0.3$ (36)	$< 0.12—0.38$ (23)	4—173 (23)		бедные poor

* в скобках количество образцов

* Sample number in brackets

Таблица 1

Table 1

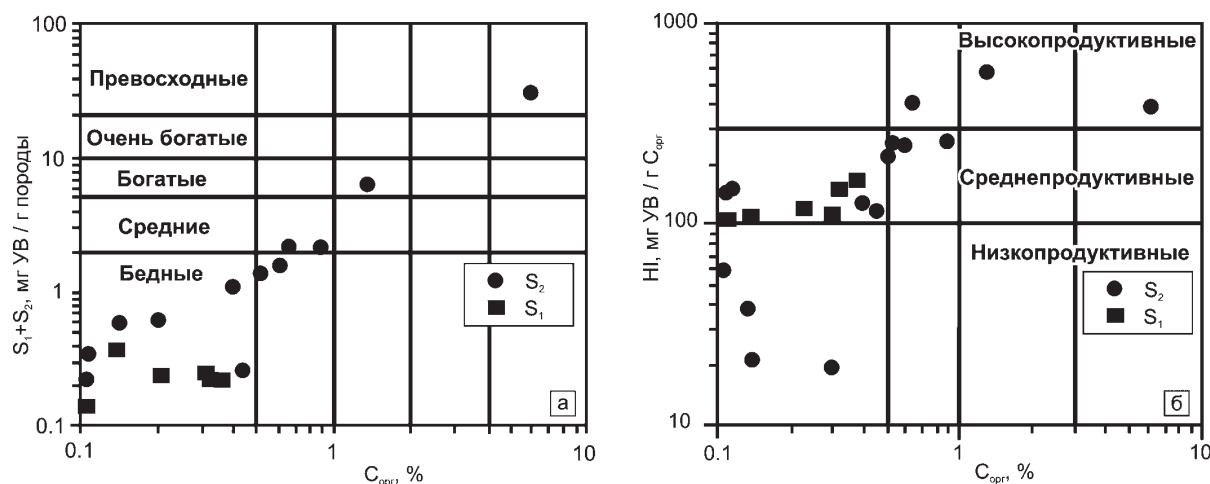


Рис. 3. Генерационный потенциал силурийских отложений: а — диаграмма величины генерационного потенциала от содержания $C_{орг}$, б — диаграмма изменений водородного индекса (HI) от содержания $C_{орг}$

Fig. 3. Generation potential of the Silurian deposits: а — plot of TOC versus petroleum potential, б — plot of TOC versus hydrogen index (HI)

леводородов имеют одномодальное распределение с максимумом в области $n-C_{15}$ — $n-C_{17}$ (рис. 5, а, б). В среднемoleкулярной части отмечается преобладание нечетных соединений, коэффициент нечетности $K_{нч} C_{15}$ — C_{21} — 1.0—1.3, $K_{нч} C_{17} > 1$. Значения отношения нечетных к четным в высокомолекулярной области (CPI) 1.0—1.5. Полученные коэффициенты в целом отражают участие в составе исходного ОВ планктонной составляющей [12, 14, 15]. В этой группе выделяется ряд образцов с повышенной концентрацией высокомолекулярных n -алканов (рис. 5, б), что может отражать участие водорослевого ОВ. Подобные особенности в распределении n -алканов отмечаются также в силурийских отложениях прилегающих областей Хорейверской впадины и юга гряды Чернышева, где в составе ОВ встречены остатки водорослей [8, 9].

Во второй группе битумоидов доля среднемoleкулярных соединений снижена, а концентрация углеводородов состава $> C_{19}$ равна 51—74 % (табл. 2, рис. 5, в, г). Доля высокомолекулярных n -алканов в области C_{25} — C_{33} повышается до 45%, значения соотношения $n-C_{17}/n-C_{25}$ и CPI для этих битумоидов наиболее низкие — 1.1—2.9 и 0.92—1.2 соответственно. Полученные значения геохимических параметров в этой группе битумоидов могут указывать на смешанный состав ОВ, сформированного за счет планктонной и водорослевой составляющей, с увеличением вклада донных водорослей. Сходное распределение насыщенных УВ отмечаются Т. К. Баженовой в нефтематеринских отложениях Сибирской платформы, в ОВ которых присутствует максимальное количество остатков донных бурых водорослей (псевдовитринит) [2]. Значения $\beta_{ХБ}$ в рассматри-

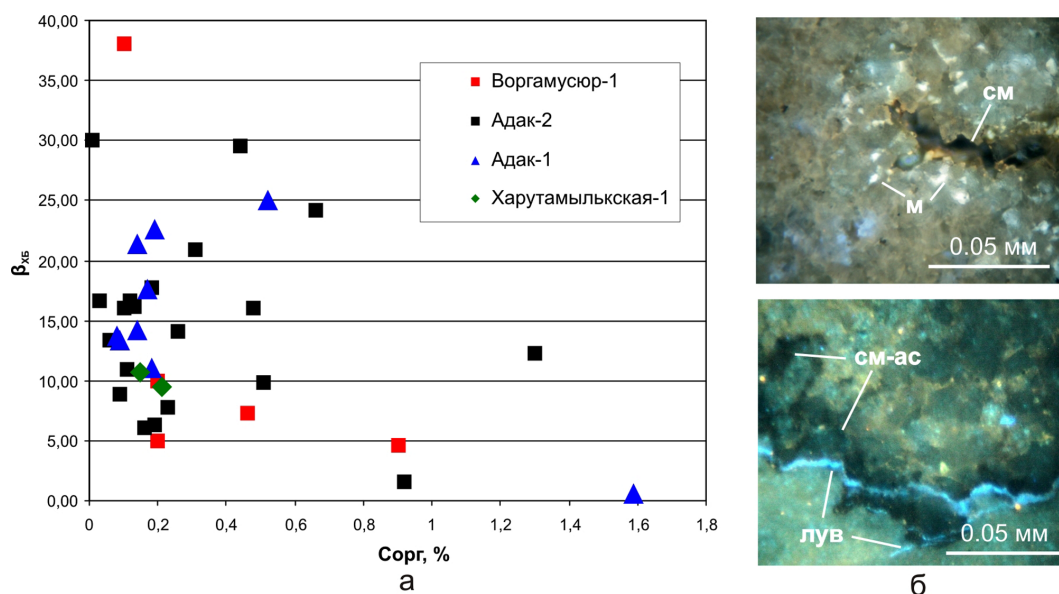


Рис. 4. Битуминозность силурийских отложений: а — зависимость значений $\beta_{ХБ}$ от содержания $C_{орг}$ в породе, б — микрофотографии шлифов в УФ-свете. Битуминовые компоненты: см — смолистые, ас — асфальтеновые, м — маслянистые, лув — легкие углеводороды

Fig. 4. Bituminosity of the Silurian deposits: а — variation of the $\beta_{ХБ}$ values with TOC in the rock, б — microphotographs of thin sections in ultraviolet light. Bituminous components: см — resinous, ас — asphaltic, м — oleaginous, лув — light hydrocarbons

Таблица 2

Геохимические параметры ОВ и насыщенных УВ (*n*-алканов и изопреноидов) силурийских отложений Тальбейского блока

Table 2

Geochemical characteristic of organic matter and saturated hydrocarbon (*n*-alkanes and isoprenoids) in Silurian deposits of the Talbeysky block

Скважина / Borehole	1-Воргамусюр / 1-Vorgamusyur				2-Адак / 2-Adak					1-Адак / 1-Adak		
Образец / Sample	9-2	11-2	13-1	23-2	47-29	50-40	52-51	54-56	61-62	1-1	5-5	5-6
Возраст / Age	S ₂ ld		S ₁		S ₂ p	S ₂ ld			S ₁ v	S ₂ gj	S ₁ sd	
C _{орг} , %	0.9	0.46	0.1	0.2	0.31	0.44	0.51	0.19	0.12	0.18	0.14	0.14
ХБА, %	0.041	0.033	0.038	0.019	0.065	0.130	0.050	0.012	0.020	0.02	0.03	0.02
β _{ХБ}	4.6	7.2	38	10	21	29.5	9.9	6.3	16.7	11.1	21.4	14.3
C ₁₃ -C ₁₈	46.46	48.23	29.43	46.68	37.18	20.11	37.06	65.43	33.54	66.25	54.78	51.88
C ₁₉ -C ₂₄	39.80	30.59	43.44	28.51	25.13	29.02	30.89	14.55	39.83	17.39	19.61	19.40
>C ₂₅	12.25	16.04	25.44	10.47	26.26	45.30	25.30	7.50	20.64	8.37	16.23	20.82
Σ <i>i</i> -алканов	5.10	7.92	5.64	16.93	11.44	5.57	6.74	12.51	5.99	7.98	9.38	7.98
*K _{нч} C ₁₅ -C ₂₁	1.03	1.03	1.00	0.99	1.06	1.25	1.18	1.13	1.02	1.3	1.09	1.09
**K _{нч} C ₁₇	1.14	1.28	1.31	1.49	1.08	1.85	1.38	1.05	1.15	1.80	1.00	1.06
<i>n</i> -C ₁₇ / <i>n</i> -C ₂₅	2.93	4.40	1.84	6.69	2.17	1.10	2.31	8.59	2.53	5.23	3.51	5.03
***CPI	1.19	1.09	0.93	1.00	0.98	0.94	1.02	1.44	1.21	1.16	1.29	1.34
Pr/Ph	1.10	1.01	0.81	1.09	0.95	1.03	1.33	1.22	0.95	1.26	1.47	1.34
Pr/ <i>n</i> -C ₁₇	0.10	0.17	0.18	0.38	0.38	0.22	0.20	0.28	0.21	0.14	0.24	0.20
Ph/ <i>n</i> -C ₁₈	0.12	0.36	0.32	0.73	0.52	0.37	0.23	0.41	0.26	0.29	0.32	0.30
Pr+Ph/ <i>n</i> -C ₁₇ + <i>n</i> -C ₁₈	0.11	0.23	0.24	0.49	0.44	0.28	0.21	0.33	0.24	0.18	0.27	0.23

1/2(((C₁₅+C₁₇+C₁₉+C₂₁)/(C₁₄+C₁₆+C₁₈+C₂₀))+((C₁₅+C₁₇+C₁₉+C₂₁)/(C₁₆+C₁₈+C₂₀+C₂₂)))

**2*C₁₇/(C₁₆+C₁₈)

*** 1/2*(((C₂₅+C₂₇+C₂₉+C₃₁+C₃₃)/(C₂₆+C₂₈+C₃₀+C₃₂+C₃₄))+((C₂₅+C₂₇+C₂₉+C₃₁)/(C₂₄+C₂₆+C₂₈+C₃₀+C₃₂)))

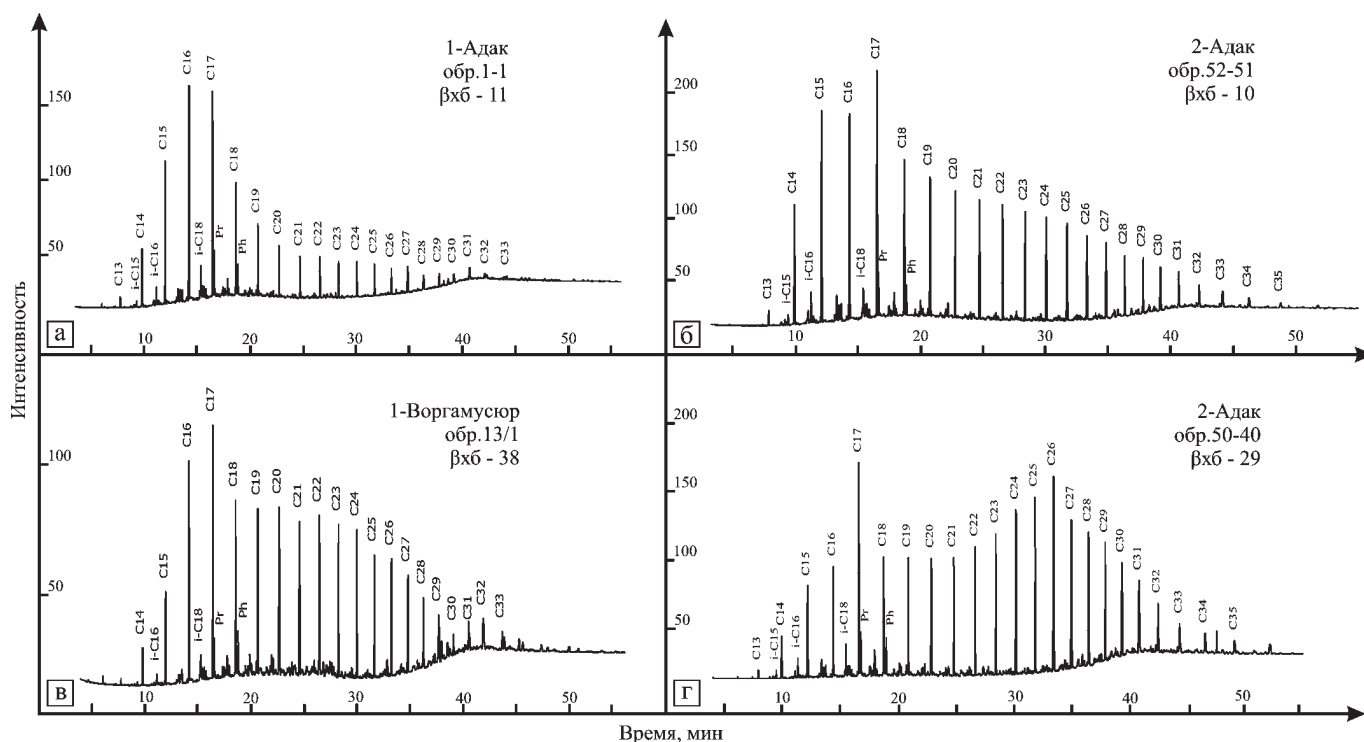


Рис. 5. Хроматограммы распределения *n*-алканов и изопреноидов в насыщенной фракции битумоидов

Fig. 5. Chromatograms of *n*-alkanes and isoprenoids in saturated hydrocarbon fractions

ваемой группе битумоидов составляет 16—38 %, что может свидетельствовать об их частично аллохтонной природе.

Концентрация изопреноидов во всех битумоидах низкая и составляет 5.1—16.9 % (табл. 2). Считается, что величина отношения пристана ($i\text{-C}_{19}$) к фитану ($i\text{-C}_{20}$) (Pr/Ph) является показателем окислительно-восстановительных условий диагенеза исходного ОВ [12, 14, 15]. Значения отношения Pr/Ph варьируют в диапазоне от 0.8 до 1.4, что может свидетельствовать о накоплении исходного ОВ в суб-окислительной обстановке.

В целом характер распределения n -алканов в изученных битумоидах отражает участие морского планктонно-водорослевого ОВ в составе исходной биомассы. По данным палинологических исследований скважин 1-, 2-Адакская и 1-Харутамыльская, основной биоценоотический состав ОВ силурийских отложений представлен остатками фито- и зоопланктона и зообентоса [5].

Катагенез ОВ

Катагенетическая преобразованность ОВ силурийских отложений оценивалась преимущественно по материалам скважины 1-Воргамусюрская. По данным пиролитических исследований (Rock-Eval), значения $T_{\max}$ (температура максимального выхода УВ) и PI (индекс продуктивности), используемые в качестве показателей зрелости ОВ, составляют 430—443 °C и 0.1—0.2 соответственно с увеличением вниз по разрезу (рис. 6). Полученные данные указывают на уровень катагенетической преобразованности ОВ силурийских отложений, соответствующий грациям МК₁₋₂, то есть главной зоне нефтегенерации. Степень катагенетической преобразованности определялась также по индексу окраски конодонтов (ИОК), используемому для оценки прогрева вмещающих отложений [13]. Цветовые грации конодонтов, выраженные через индексы окраски, изменяются с глубиной залегания отложений, составляя 1.5—2. По данным ИОК, интенсивность прогрева вмещающих толщ достигала 90—140 °C, что отвечает грациям катагенеза на уровне МК₁₋₂.

По данным проведенных ранее исследований по оценке катагенеза ОВ в скважинах 1-, 2-Адакская и 1-Харутамыльская, ОВ силурийских отложений является более зрелым на уровне граций МК₂₋₃ [5]. Однако сами авторы отмечают, что для силурийских толщ, где отсут-

ствуют остатки высшей растительности, оценка катагенеза была определена в достаточной мере условно. По результатам наших исследований (пиролитических, ИОК), максимальный прогрев силурийских толщ в северной части Тальбейского блока (скв. 1-Воргамусюрская) достигал граций МК₂. Вариации уровня зрелости ОВ в пределах блока, вероятно, отражают латеральное изменение катагенеза по площади.

Заключение

Таким образом, в раннесилурийское время в мелко-водно-морских условиях формировались в основном бедные НГМП. Средние и богатые глинисто-карбонатные НГМП с повышенным содержанием ОВ накапливались преимущественно в позднесилурийское время. Значения HI варьируют в широких пределах — от 4 до 580 мг УВ / г С_{орг}, что, вероятно, обусловлено окислением ОВ на регрессивных этапах развития бассейна и частичной реализацией его углеводородного потенциала при катагенезе. Исходным органическим материалом являлось морское планктонно-водорослевое ОВ. Катагенетическая преобразованность ОВ силурийских отложений изменяется по площади, достигая граций МК₁₋₂ в северной и МК₂₋₃ в южной частях Тальбейского блока.

Авторы выражают благодарность руководству ООО «ТП НИЦ» и ООО «Газпром переработка» (г. Ухта) за предоставленную возможность работы с керновым материалом скважин.

Аналитические исследования проводились в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (ЦКП «Геонаука», г. Сыктывкар) и ВНИГНИ (г. Москва). Исследования выполнены при частичной поддержке программы УрО РАН (№ 15-18-5-21) и гранта РФФИ (№ 16-35-00278 мол_а).

Литература

1. Баженова О. К., Бурлин Ю. К., Соколов Б. А., Хаин В. Е. Геология и геохимия нефти и газа: Учебник. М.: МГУ, 2004. 415 с.
2. Баженова Т. К., Шапиро А. И. Алифатические углеводороды синбитумоидов как показатель фациально-генетического типа органического вещества // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. Т. 3. № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/1/28_2008.pdf

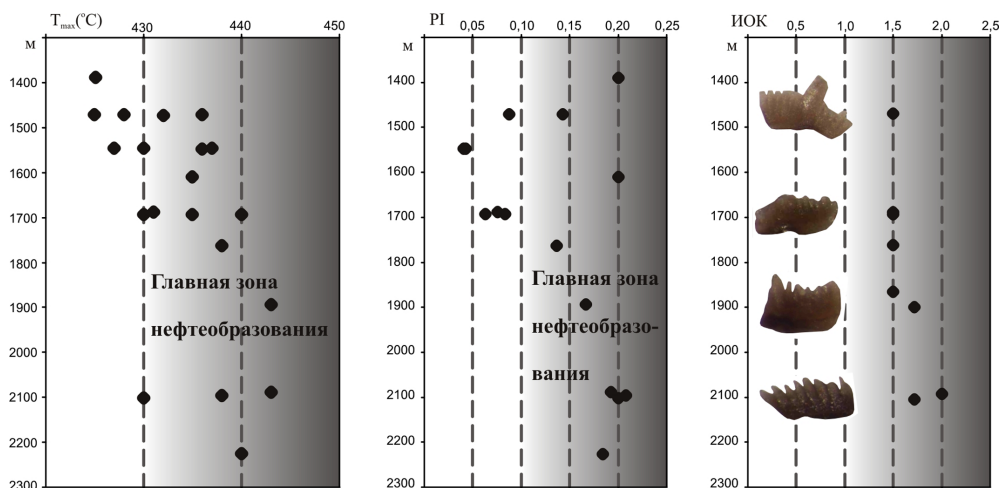


Рис. 6. Изменение параметров зрелости ОВ по данным пиролиза Rock-Eval и индексу окраски конодонтов в скважине 1-Воргамусюр

Fig. 6. Maturity of organic matter according to Rock-Eval data and conodont color alteration index in well 1-Vorgamusyur

3. Богданов Б. П., Ростовщиков В. Б., Недилук Л. П. и др. Тектонические и геохимические предпосылки нефтегазоносности гряды Чернышева // Там же. 2016. Т. 11. № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/18_2016.pdf
4. Данилов В. Н., Иванов В. В., Гудельман А. А. и др. Перспективы нефтегазоносности центральной части поднятия Чернышева по результатам геолого-разведочных работ на Адакской площади // Там же. 2011. Т. 6. № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/21_2011.pdf
5. Данилов В. Н., Огданец Л. В., Макарова И. Р. и др. Основные результаты изучения органического вещества и УВ-флюидов Адакской площади // Там же. 2011. Т. 6. № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/1/22_2011.pdf
6. Даныщикова И. И., Процько О. С. Литологическая и геохимическая характеристика силурийских отложений Тальбейского блока // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Матер. 23-й науч. конф. Сыктывкар: Геопринт, 2014. С. 22—24.
7. Жемчугова В. А., Мельников С. В., Данилов В. Н. Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). М.: Академия горных наук, 2001. 110 с.
8. Клименко С. С., Анищенко Л. А. Геологические и геохимические аспекты нефтегазоносности гряды Чернышева // Литологические и геохимические основы прогноза нефтегазоносности: Матер. конф. СПб.: ВНИГРИ, 2008. С. 166—174.
9. Клименко С. С., Анищенко Л. А. Состав ОВ нефтегазоносных толщ, особенности условий и времени генерации УВ в осадочном чехле Тимано-Печорского бассейна // Успехи органической геохимии: Материалы конф. Новосибирск, 2010. С. 174—178.
10. Майдль Т. В., Даныщикова И. И. Роль тектогенеза в формировании коллекторов нижнепалеозойских карбонатных отложений в центральной части поднятия Чернышева // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 10. С. 3—10.
11. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения / М. Д. Белонин, О. М. Прищепа, Е. Л. Теплов и др. СПб.: Недра, 2004. 396 с.
12. Хант Д. Геология и геохимия нефти и газа. М.: Мир, 1982. 703 с.
13. Epstein A. G., Epstein J. B., Harris L. D. Conodont color alteration — an index organic metamorphism / U. S. Geological Survey Professional Paper 995, 1977. P. 27.
14. Peters K. E., Moldowan J. M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993. 363 p.
15. Tissot B. T., Welte D. H. Petroleum Formation and Occurrences. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin. 1984. 699 p.
- References**
1. Bazhenova O. K., Burlin Yu. K., Sokolov B. A., Khain V. E. *Geologiya i geokhimiya nefii i gaza: Uchebnik* (Petroleum geology and geochemistry). Moscow, MGU, 2004, 415 p.
2. Bazhenova T. K., Shapiro A. L. *Alifaticeskie uglevodorody sinbitumoidov kak pokazatel' fatsial'no-geneticheskogo tipa organicheskogo veshchestva* (Aliphatic hydrocarbons of synbitumoids as an indicator of facial-genetic type of organic matter). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2008, V. 3, No. 3. — http://www.ngtp.ru/rub/1/28_2008.pdf
3. Bogdanov B. P., Rostovschikov V. B., Nedilyuk L. P. et al. *Tektonicheskie i geokhimicheskie predposylki neftegazonosnosti gryady Chernysheva* (Tectonical and geochemical preconditions for petroleum potential of Chernyshev ridge). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2016, V. 11. No. 2. — http://www.ngtp.ru/rub/4/18_2016.pdf
4. Danilov V. N., Ivanov V. V., Gudelman A. A. et al. *Perspektivy neftegazonosnosti tsentral'noi chasti podnyatiya Chernysheva po rezul'tatam geologorazvedochnykh rabot na Adakskoi ploschadi* (Oil and Gas potential of the central part of the Chernyshev swell based on geological exploration data at the Adak area). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2011, V. 6, No. 2. — http://www.ngtp.ru/rub/4/21_2011.pdf
5. Danilov V. N., Ogdanets L. V., Makarova I. R. et al. *Osnovnye rezultaty izucheniya organicheskogo veshchestva i UV-flyuidov Adakskoi ploschadi* (Adak area — main results of organic matter and hydrocarbon fluids study). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2011, V. 6. No. 2. — http://www.ngtp.ru/rub/1/22_2011.pdf
6. Danshikova I. I., Protsko O. S. *Litologicheskay i geokhimicheskay kharakteristika siluriiskikh otlozhenii Tal'beiskogo bloka* (Lithological and geochemical characteristic of the Silurian sediments of Talbeysky block). *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severouralskogo segmenta: conference materials*. Syktyvkar, Geoprint, 2014, pp. 22—24.
7. Zhemchugova V. A., Mel'nikov S. V., Danilov V. N. *Nizhnij paleozoi Pechorskogo neftegazonosnogo bassejna (stroenie, uslovija obrazovaniya, neftegazonosnost)* (Lower Paleozoic Pechora petroleum basin (structure, formation conditions, petroleum potential). Moscow, Akademia gornyx nauk, 2001, 110 p.
8. Klimenko S. S., Anitshenko L. A. *Geologicheskie i geokhimicheskie aspekti neftegazonosnosti gryadi Chernysheva* (Geological and geochemical aspects of oil and gas content of the Chernyshev ridge). *Litologicheskie i geokhimicheskie osnovi prognoza neftegazonosnosti: conference materials*. St. Petersburg, VNIGRI, 2008, pp. 166—174.
9. Klimenko S. S., Anitshenko L. A. *Sostav OV neftegazonosnykh tolsch, osobennosti uslovii i vremeni generacii UV v osadochnom chehle Timano-Pechorskogo basseina* (The composition of OM oil and gas deposits, especially the conditions and time of hydrocarbon generation in the sedimentary cover of the Timan-Pechora Basin). *Uspеhi organicheskoi geokhimii: conference materials*. Novosibirsk, 2010, pp. 174—178.
10. Maydl T. V., Danshikova I. I. *Rol tektogeneza v formirovani kolektorov nizhnepaleozoiskyykh karbonatnyykh otlozhenii v tsentral'noi chasti podnyatiya Chernysheva* (Role of tectogenesis in formation or reservoirs of lower Paleozoic carbonate deposits in central part of Chernyshev ridge). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2015, No 10, pp. 3—10.
11. *Timano-Pechorskaya provintsia: geologicheskoe stroenie, neftegazonosnost' i perspektivy osvoeniya* (Timan-Pechora province: geological structure, petroleum potential and prospects of development). M. D. Belonin, O. M. Prishchepa, E. L. Teplov et al. St. Petersburg, Nedra, 2004, 396 p.
12. Khant D. *Geologiya i geokhimiya nefii i gasa* (Geochemistry and geology of oil and gas). Moscow, Mir, 1982, 703 p.
13. Epstein A. G., Epstein J. B., Harris L. D. Conodont color alteration — an index organic metamorphism. U. S. Geological Survey Professional Paper 995, 1977, P. 27
14. Peters K. E., Moldowan J. M. The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993, 363 p.
15. Tissot B. T., Welte D. H. Petroleum Formation and Occurrences. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin. 1984, 699 p.



БИОМАРКЕРЫ УГЛЕЙ ИНТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, ВЫДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ГИПЕРУГЛЕЙ

Д. А. Бушнев¹, Н. С. Бурдельная¹, Д. В. Кузьмин¹, М. В. Мокеев², И. Н. Бурцев¹

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

²Институт высокомолекулярных соединений РАН, Санкт-Петербург

Исследована и подтверждена возможность получения обеззоленных углей (гиперуглей) из сырья шахты Интинская. Для изучения условий образования исходных углей методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии был изучен состав углеводородов биомаркеров насыщенной фракции битумоида. Присутствие высоких концентраций стеранов состава C_{29} , n -алканов состава C_{27} — C_{29} указывает на значительный вклад терригенной растительности в состав исходной биомассы. Для ряда образцов наличие высоких концентраций n -алканов состава C_{23} — C_{25} может являться признаком вклада водной растительности в состав исходной биомассы. Для получения гиперугля концентраты исходного угля были проэкстрагированы N -метилпирролидоном при кипячении. Для характеристики полученного после отгонки растворителя продукта была использована спектроскопия ЯМР в твёрдом теле. Анализ спектров CP/MAS, а также результаты редактирования спектров показали, что полученные гиперугли по структуре органического вещества мало отличны от исходных углей. При этом для них характерно незначительное увеличение алифатической составляющей и наличие амидных групп, обусловленное взаимодействием с растворителем.

Ключевые слова: каменный уголь, шахта Интинская, биомаркеры, гиперуголь, ^{13}C ЯМР в твёрдом теле.

BIOMARKERS OF INTA COAL DEPOSIT, ISOLATION AND ANALYSIS OF CHEMICAL STRUCTURE OF HYPERCOALS

D. A. Bushnev¹, N. S. Burdelnaya¹, D. V. Kuzmin¹, M. V. Mokeev², I. N. Burtsev¹

¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Institute of Macromolecular Compounds RAS, Sankt-Petersburg

We studied the possibility of production of ashless coals (hypercoals) from raw of Intinskaya mine. To study the formation conditions of the initial coals by gas chromatography and gas chromatography-mass spectrometry we studied the composition of biomarkers hydrocarbons of saturated fraction of bitumen. The presence of high concentrations of C_{29} steranes, C_{27} — C_{29} n -alkanes indicates a significant contribution of terrigenous vegetation in the initial biomass composition; for a number of samples the presence of high concentrations of C_{23} — C_{25} n -alkanes can be an attribute of the contribution of aquatic vegetation in the initial biomass composition. To produce hypercoals the initial coal concentrates were extracted with N -methylpyrrolidone at boiling. To characterize the product, obtained after distillation of the solvent, we used solid state NMR spectroscopy. The analysis of CP/MAS spectra, and also the results of the editing of the spectra showed that the obtained hypercoals are little different from the initial coals by their organic matter structure. At that they are characterized by an insignificant increase of aliphatic component and presence of amido groups conditioned by the interaction with the solvent.

Keywords: coal, Intinskaya mine, biomarkers, hypercoal, solid state ^{13}C NMR.

Введение

Получение беззольных углей является важнейшей технологической проблемой. Подходы к получению обеззоленных углей (гиперуглей) путём экстракции полярными растворителями активно развиваются в настоящее время. В практическом отношении результатом такой обработки является повышение удельной теплоты сгорания и термопластичности получаемого продукта, а использование гиперугля в качестве добавки к коксу способствует повышению прочности такого материала. Также гиперуголь представляет собой «идеальное» сырьё для газификации (Takanohashi et al., 1996, 2008, Koyano et al., 2011, Cho et al., 2012, Shui et al., 2013). Для изучения структуры получаемых продуктов широко применяются методы спектрального анализа, в частности спектроскопия ЯМР в твёрдом теле (Takanohashi et al., 2008).

Угли Интинского месторождения являются перспективным сырьём для получения обеззоленного продукта, так как в своём исходном виде характеризуются высокой

зольностью и вследствие этого невысокими потребительскими свойствами (Угленосная формация..., 1990). Особенности углепетрографии интинских углей рассматривались в работах ИГ Коми НЦ УрО РАН (Процько, Медведева, 2014). Целью настоящего исследования является изучение возможности получения обеззоленных экстрактов из углей Интинского месторождения, выяснение связи структуры получаемых в лабораторных условиях гиперуглей со структурой исходного угля, а также выяснение методами органической геохимии состава исходного органического вещества и условий формирования органической массы ископаемых углей Интинского месторождения.

Экспериментальная часть

Для каждого образца по стандартным методикам определялось содержание органического углерода ($C_{орг}$), выделялся хлороформенный битумоид А (ХБА), осуществлялось фракционирование ХБА с получением асфальтенов, смол, насыщенных и ароматических углеводоро-

дов. Анализ насыщенной углеводородной фракции осуществлялся методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии.

Выделение гиперугля. Исходные образцы угля обогащали в растворителе плотностью 1.6 г/см^3 . Полученную легкую фракцию высушивали и подвергали обработке N-метилпирролидоном (NMP). Для получения гиперугля брали навеску обогащенного угля массой 30 г, затем добавляли 300 мл NMP и оставляли на 24 часа. Спустя сутки смесь кипятили с обратным холодильником в течение двух часов, фильтровали на воронке Бюхнера под вакуумом через бумажный фильтр (белая лента), промывали 250 мл горячего NMP и полученный раствор упаривали. После отгонки растворителя полученный осадок беззольного угля высушивали в сушильном шкафу при температуре 230°C . Осадок легкой фракции после выделения гиперугля промывали горячей водой от остатков растворителя, высушивали в сушильном шкафу при температуре 140°C и сохраняли для дальнейших исследований.

Спектроскопия ^{13}C ЯМР. Спектры ЯМР высокого разрешения в твердом теле получали по методике кросс-поляризации с вращением под «магическим углом» на спектрометре BRUKER AVANCE II-500 (рабочая частота на ^{13}C — 125.77 МГц). Химические сдвиги приводятся относительно внешнего стандарта тетраметилсилана (ТМС). Обработка спектров осуществлялась в программе Dmfit (Massiot et al., 2002).

Угли Интинского месторождения. Интинское месторождение каменного угля является одним из крупнейших месторождений на территории Печорского угольного бассейна (Тимофеев и др., 2002). Угли марки Д, относящиеся к зольным и высокозольным, являются труднообогатимыми. Угольные пласты интинской свиты характеризуются определенным количественным соотношением литотипов. К зольным (до 25 %) относятся преимущественно блестящий и полублестящий литотипы, к высокозольным (25—32 % и выше) — полуматовый и матовый угли (Угленосная формация..., 1990). В настоящей работе представлены результаты исследований по углеводородному составу битумоида, выделенного из ряда углей 10-го и 11-го пластов интинской свиты (шахта Интинская), ^{13}C ЯМР-данные по гиперуглям, а также углям до и после экстракции (остаточный уголь) N-метилпирролидоном. Детальный анализ петрографического состава и технологических характеристик углей из 10-го и 11-го пластов интинской шахты дан в работе О. С. Процько и В. А. Медведевой (2014). Ими показано, что основными микрокомпонентами интинских углей являются витринит и инертинит, лептинит занимает подчиненное положение.

Содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ и ХБА в исходных пробах, групповой состав битумоида. Содержание органического углерода в отобранных пробах составляет 44—54 %, зольность углей варьирует от 14 до 25 % (см. таблицу). Таким образом, тщательный отбор проб позволил выделить из имеющейся массы угля преимущественно блестящий и полублестящий литотипы, отличающиеся более низким содержанием золы в пробе (Угленосная формация..., 1990). Низкие значения выхода хлороформенного битумоида и, соответственно, битумоидного коэффициента свидетельствуют об автохтонности растворимого органического вещества углей. Компонентный состав битумоида характеризуется повышенным содержанием смолистых компонентов и низким содержанием насыщенных углеводородов.

Распределение алканов и изопреноидов углеводородной фракции битумоида исходного угля. Хроматографическая картина ациклических углеводородов, к которым относятся *n*-алканы и изопреноиды алифатических фракций битумоидов исследуемых углей, является вполне типичной для ископаемых углей невысокой степени метаморфизма (Гуляева и др., 1976, 1978). Среди *n*-алканов наблюдаются высокие концентрации нечетных углеводородов состава C_{23} — C_{29} , причём распределение этих углеводородов в битумоиде неоднородно по разрезу изученных нами пластов 10 и 11 (рис. 1). Наибольшие концентрации углеводорода *n*- C_{25} наблюдаются в образцах 11-18 и 10-12, для двух других образцов концентрации *n*- C_{27} — выше, а в образце 11-10 его концентрация превышает концентрацию *n*- C_{25} . Поскольку различные нечетные *n*-алканы «производятся» различными продуцентами, можно говорить об известной вариативности состава исходного органического вещества. Алканы *n*- C_{27} , 29 , 31 относятся к эпикутикулярным воскам высшей растительности, а углеводороды состава *n*- C_{21} , 23 , 25 могут принадлежать как сосудистым растениям, так и микроводорослям, цианобактериям, сфагнуму, погруженным макрофитам (Ficken et al., 2000; Andersson et al., 2011).

Ациклические изопреноиды, к которым относятся пристан (Pr) и фитан (Ph), присутствуют в битумоиде угля в высоких концентрациях, а их отношение лежит в интервале 4.3—5.1. Повышенное отношение концентраций этих углеводородов является типичным для органического вещества терригенного происхождения, накопление которого происходило в окислительных обстановках (Peters et al., 2005), то есть для ископаемых углей, содержащих в основном витринит и инертинит. По сравнению с неченскими углями (Бушнев и др., 2012) в битумоидах углей из шахты Интинская концентрации *n*-алканов диапазона C_{12} — C_{20} заметно выше, как выше и отношение Pr/Ph.

Распределение полициклических биомаркеров. Полициклические биомаркеры, к которым относятся углеводороды ряда стерана и гопана, других терпановых углеводородов, несут важную информацию о составе исходного органического вещества, условиях его накопления и термической преобразованности отложений (Peters et al., 2005). Биомаркеры широко используются в исследовании ископаемых углей (Каширцев и др., 2010). Исследование состава биомаркеров битумоида воркутинских углей (Бушнев и др., 2016) дало возможность установить, что основными продуцентами исходной биомассы углей являлись остатки хвойных растений, а их видовой состав не был однороден во время накопления угленосной толщи (Бушнев и др., 2016). Результаты изучения биомаркеров углей и вмещающих пород Неченского месторождения показали, что органическая масса углей Интинского района имеет низкую степень зрелости, преимущественно терригенное происхождение при незначительной примеси аквагенного органического вещества (Бушнев и др., 2012).

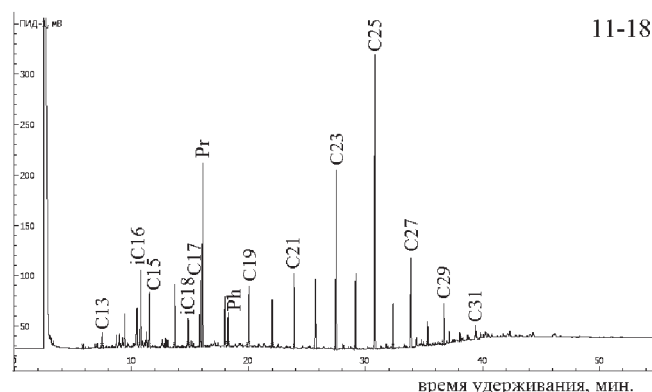
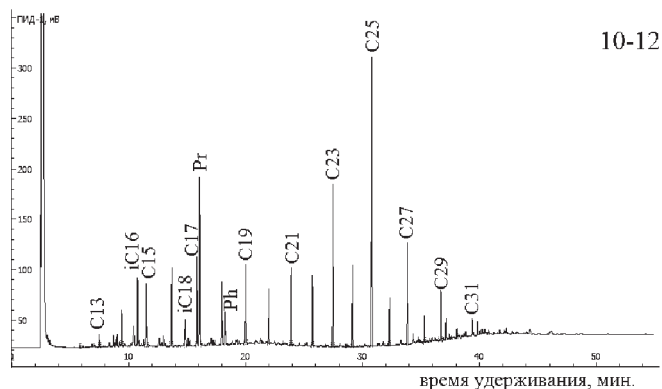
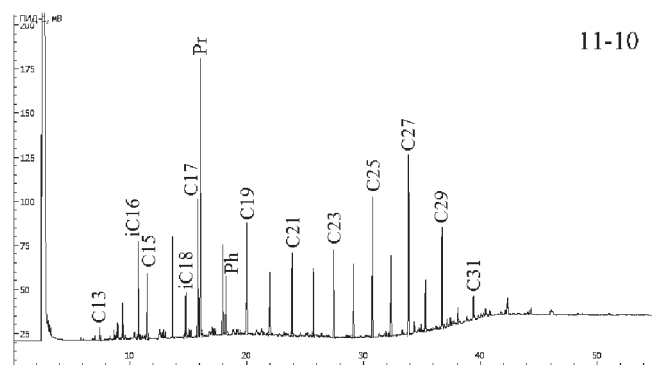
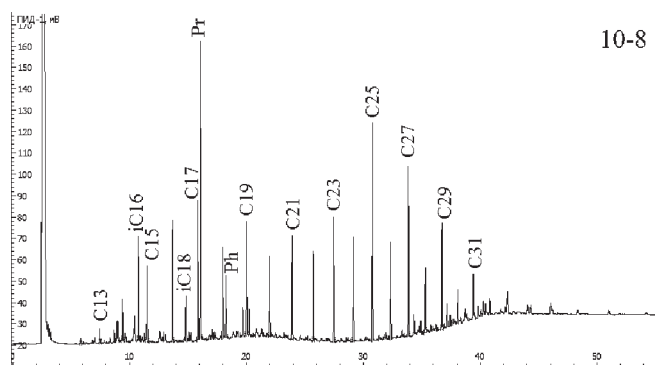
Стерановые УВ битумоида углей Интинской шахты (данное исследование) преимущественно представлены $\alpha\alpha\alpha$ -20R-диастереомерами, среди которых, безусловно, доминирует этилхолестан (C_{29}), его доля на сумму всех стеранов составляет около 90 % (см. таблицу). Показатели зрелости, например отношение $20\text{S}/20\text{S} + \text{R}$ стеранов состава C_{29} во всех образцах менее 0.1, свидетельствуют о низкой степени термической зрелости органического вещества углей. Этот вывод подтверждается и результатами исследования гопановых углеводородов. Среди них присутствуют в высоких концентрациях биологические $\beta\beta$ -



Характеристика проб угля

Coal samples characteristics

Пласт/Образец • Bed/sample	10/8	10/12	11/10	11/18
Валовые характеристики • Gross characteristics				
C _{орг} , %	53.4	54.0	54.4	44.3
ХБА, %	0.16	0.16	0.21	0.11
A _d , % исх. угля	16.9	17.0	14.2	25.1
Выход ГПУ • Yield, %	17	11	13	31
Групповой состав битумоида • Group composition of bitumen				
Асфальтены • Asphaltens, %	25	12	13.9	14
Смолы • Resins, %	31.5	38	48.2	40.5
Алифатические УВ • aliphatic HC, %	4.6	4	3.9	3.4
Ароматические УВ • Aromatic HC, %	12.9	13.4	8.5	11.2
Элементный анализ • Element analysis				
Н/С исх. угля	0.86	0.94	0.89	0.90
О/С исх. угля	0.192	0.193	0.196	0.214
Н/С исх. угля	0.028	0.029	0.028	0.029
Н/С ГПУ	0.84	0.87	0.93	1.19
О/С ГПУ	0.196	0.165	0.180	0.198
Н/С ГПУ	0.080	0.070	0.084	0.123
Состав углеводородов • Hydrocarbon composition				
Pr/Ph	4.43	5.01	4.33	5.10
Pr+Ph/C ₁₇ + ₁₈	1.81	1.53	1.70	2.15
2*C ₁₇ /C ₁₆ + ₁₈	1.30	1.27	1.46	1.19
2*C ₂₇ /C ₂₆ + ₂₈	2.08	2.63	2.76	2.65
20S/20S+R C ₂₉ ααα	0.07	0.06	0.04	0.05
22S/22S+RC ₃₁ αβ	0.19	0.17	0.15	0.15
αβ C ₃₀ , %	36	40	31	34
βα C ₃₀ , %	17	16	16	16
ββ C ₃₀ , %	47	44	53	49
ααα 20R C ₂₇ , %	6	4	6	2
ααα 20R C ₂₈ , %	11	11	12	8
ααα 20R C ₂₉ , %	84	84	82	90

Рис. 1. Распределение *n*- и изоалканов в углеводородной фракции битумоида исходных углей (ш. Интинская)Fig. 1. Distribution of *n*- and iso-alkanes in the hydrocarbon fraction of initial coal bitumens (Intinskaya mine)

диастереомеры, а отношение $22S/22S + R$ составляет величину менее 0.2. Среди пентациклических терпанов были также обнаружены их ненасыщенные аналоги — неогоп-13(18)-ены состава C_{29} и C_{30} (рис. 2). Особенностью строения данных соединений является замещение метильного радикала не при 18-м атоме углерода, а при C-17, а также наличие кратной связи между C-13—C-18 атомами углерода (см. структуру). Данные соединения были обнаружены как в органическом веществе современных осадков, так и незрелом ОВ морских и озерных осадочных отложений юрского возраста (Sinninghe Damst et al., 2014). В ряде публикаций было описано, что неогопены в небольших концентрациях встречаются как в бактериях, так и в папоротниках. Также не исключена возможность их образования через реакции дегидратации и изомеризации «обычных» гопанолов или гопенов (Moldowan et al., 1991). Все эти данные в совокупности свидетельствуют о том, что основным источником исходного органического вещества изучаемых углей являлись остатки высшей растительности (доминирование C_{29} -стеранов), а катагенез органического вещества низок. Известно (Процко, Медведева, 2014), что отражательная способность витринита составляет в углях Интинской шахты величину R_o 0.6—0.67 %, что соответствует началу мезокатагенеза или каменноугольной стадии, а данные по биомаркерам указывают на буроугольную стадию преобразования ОВ или его протокатагенез (Тимофеев и др., 2002). Это может являться предметом дальнейших исследований.

Ранее при изучении углей Воркутского района в их битумоиде был идентифицирован 19-норизоимаран (Бушнев и др., 2016), причём он присутствовал не во всех изученных пробах, а его максимальная концентрация наблюдалась в образце из верхней части разреза (SYR-6-1, P_{2sl}). В изученных пробах углей из шахты Интинская пик этого углеводорода фиксируется только в пробе 10-8.

Спектроскопия ^{13}C ЯМР. Нами были получены спектры ^{13}C CP/MAS ЯМР для гиперугля, а также для исходного угля и остатка после экстракции N-метилпирроли-

домом. Близкий петрографический состав углей интинской свиты для данных образцов из разных пластов, описанный ранее в работе (Процко, Медведева, 2014), не сильно сказался на структурном распределении атомов углерода. Для исходных углей (ИУ) мы получили абсолютно одинаковые спектры ^{13}C ЯМР, свидетельствующие о сходном строении химической структуры ОВ углей. В спектрах фиксируются две широкие полосы, относящиеся к алифатическому углероду (область 10—50 м.д.) и к ароматическому углероду (область 100—150 м.д.). Как видно из спектров, в строении ИУ доминируют ароматические структуры (рис. 3). Результатом обработки исходных углей N-метилпирролидом является получение экстракта, химическое строение которого имеет определенное сходство со структурой ИУ. Спектры остаточной после экстракции части угля также свидетельствуют о доминировании ароматической составляющей органической массы угля. Существенные изменения наблюдаются в перераспределении углерода в алифатической области. В структуре остатка образца 10-8 практически полностью отсутствуют алифатические фрагменты, и именно здесь фиксируется смена видового состава хвойных по наличию 19-норизоимарана в составе битумоида. Является ли это причинно-следственной парой — вопрос для дальнейших исследований.

Детальный анализ всех спектров показал наличие сигналов, относящихся к алифатическому углероду: 15—17 м. д. ($-\text{CH}_3$), 22—25 м. д. ($-\text{CH}_2-$ в циклах), 29—31 м. д. ($-\text{CH}_2-$ в алифатической цепи), к ароматическому углероду: 128—129 м.д. и 140—145 м. д. (протонированный и замещенный углерод в ароматическом ядре), 154—155 м. д. (ароматический углерод, связанный с гидроксильной группой — «фенольный» углерод), а также присутствует сигнал при 179 м. д., характерный для углерода в карбоксильных группах (рис. 3). Сигнал, характерный для фенольного углерода, есть в спектрах всего ряда ИУ — ГПУ — остаток, но основная часть фенольных структур концентрируется в остаточном угле. В спектрах ИУ присут-

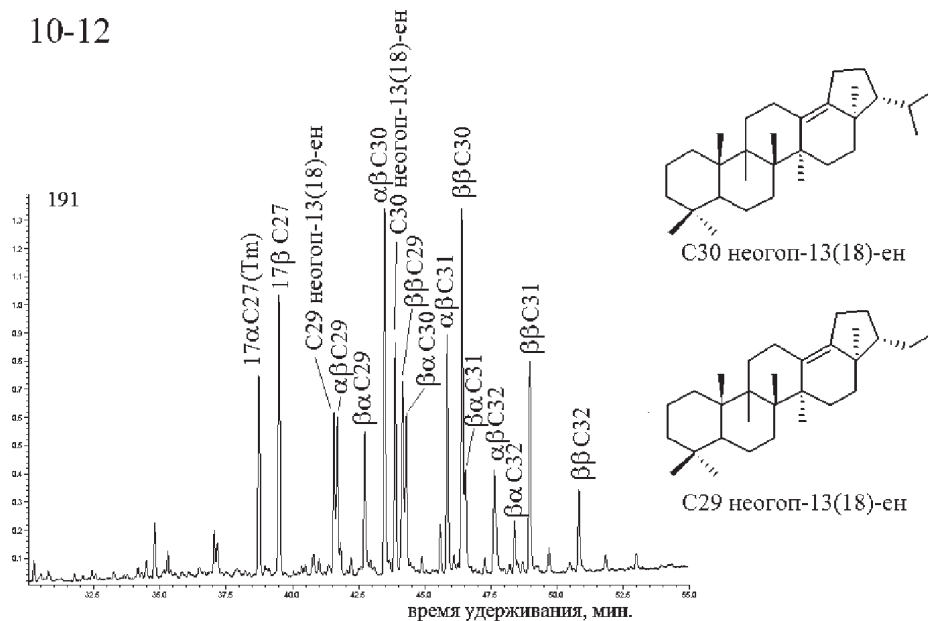


Рис. 2. Масс-фрагментограмма пентациклических терпанов, построенная по 191 иону и химическая структура неогоп-13(18)-енов состава C_{29} и C_{30}

Fig. 2. Mass-fragmentogram of pentacycliterpanes built on 191 ion and the chemical structure of C_{29} and C_{30} neohop-13(18)-ens



ствуется сигнал при 78.6 м. д., свойственный углероду, связанному с кислородом (гидроксильные и/или простые эфирные группы), в ГПУ и остатке данный сигнал отсутствует. В области 165—167 м. д. в спектрах экстрактов присутствует пик, отвечающий углероду в сложноэфирных группах или циклических амидах, что может являться ре-

зультатом обработки углей N-метилпирролидоном. Возможно, органическая структура исходного угля химически взаимодействует с N-метилпирролидоном в ходе экстракции (White et al., 1997) либо окисляется, что приводит к новообразованию сложноэфирных группировок. В работе (White et al., 1997) указывается на возможное окисление самого растворителя в процессе экстракции. Ряд авторов указывает на химическую инертность N-метилпирролидона по отношению к углю, независимо от проведения экстракции в среде азота либо в атмосфере (Seehra et al., 1988, Cagniant et al., 1990), другие экспериментальные данные свидетельствуют о возможном влиянии N-метилпирролидона на разрыв С—О-связей, что приводит к распаду полимерной структуры матрицы угля на многочисленные кластеры, содержащие углеводородные цепи (Cai, Smart, 1993). Если рассматривать разницу, полученную при вычитании спектров CP/MAS исходных углей и гиперуглей, то можно отчетливо наблюдать наличие трех сигналов в области: 27, 168 и 175 м. д., отвечающих углероду в метиленовых звеньях, в амидных или сложноэфирных группах и в карбоксильных группах соответственно (рис. 4).

Для идентификации сигналов, относящихся к протонированным атомам углерода, были дополнительно получены спектры с малым временем контакта (до 100 мкс). В данных спектрах преимущественно наблюдаются ядра углерода, жестко связанные с протонами по дипольному каналу. Также получены спектры непротонированных атомов углерода (на время порядка 50 мкс выключается дипольная развязка, что приводит к разрушению перенесенной намагниченности на углеродах, связанных с протонами; могут наблюдаться сигналы $-CH_3$ и $-CH_2-$ групп из-за ослабленного дипольного взаимодействия С—Н вследствие быстрого вращения и подвижности последних). Соответствующие подспектры представлены на рис. 5. Интенсивный сигнал в области «алифатического» углерода указывает на доминирование метиленовых звеньев в структуре органического вещества угля, гиперугля и остатка. Выявленные изменения в алифатической области связаны с накоплением циклических алифатических структур в остатке. В «ароматической» области четко разделяются два сигнала при 126 и 137 м.д., относящиеся к протонированному и непротонированному (замещенному) ароматическому углероду соответственно. Соотношение интенсивностей данных сигналов практически сохраняется в ряду уголь — ГПУ — остаток, лишь незначительно в остатке возрастает интенсивность замещенного ароматического углерода.

Результаты элементного анализа. Сравнительный анализ атомных соотношений Н/С, О/С, N/С в представленных фракциях (см. таблицу) позволил определить ос-

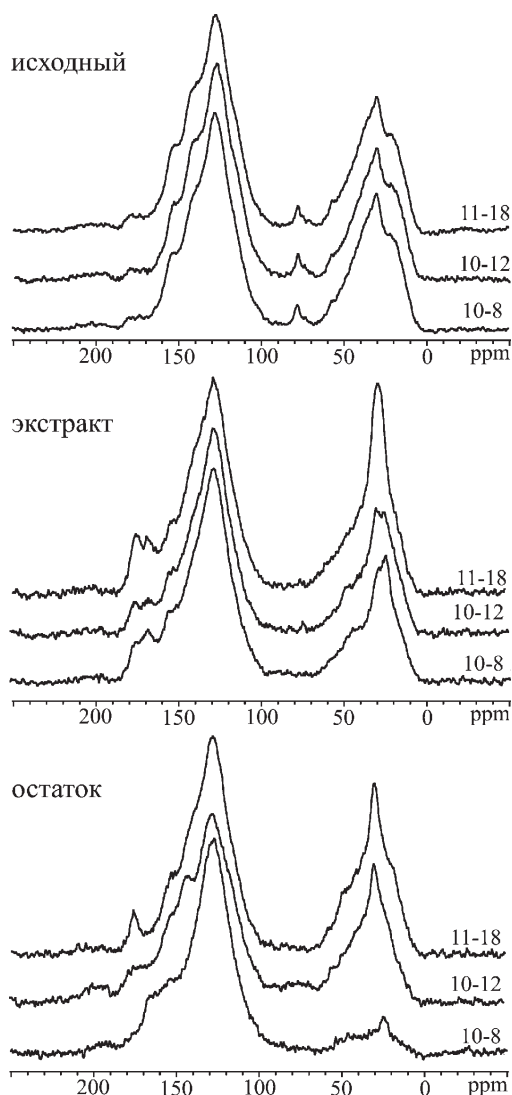


Рис. 3. Спектры CP/MAS ^{13}C ЯМР исходных углей, экстрактов и остатка после экстракции

Fig. 3. CP/MAS ^{13}C NMR spectra of the initial coals, extracts and the residue after extraction

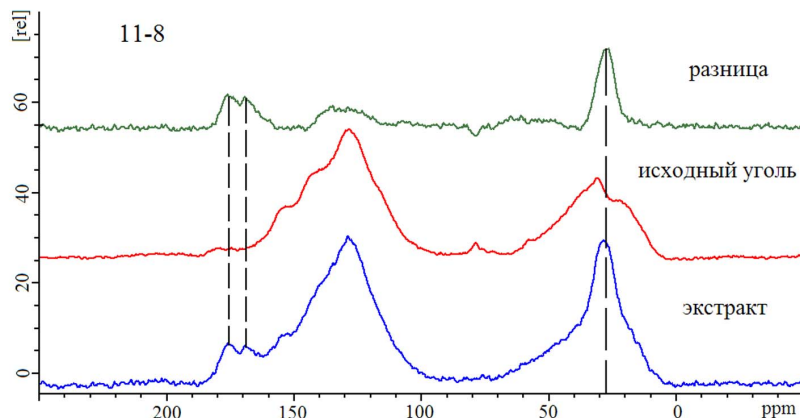


Рис. 4. Спектры ^{13}C ЯМР исходного угля, экстракта и спектра, полученного при вычитании одного из другого

Fig. 4. ^{13}C NMR spectra of the initial coal, extract and the spectrum obtained by subtraction of one from another

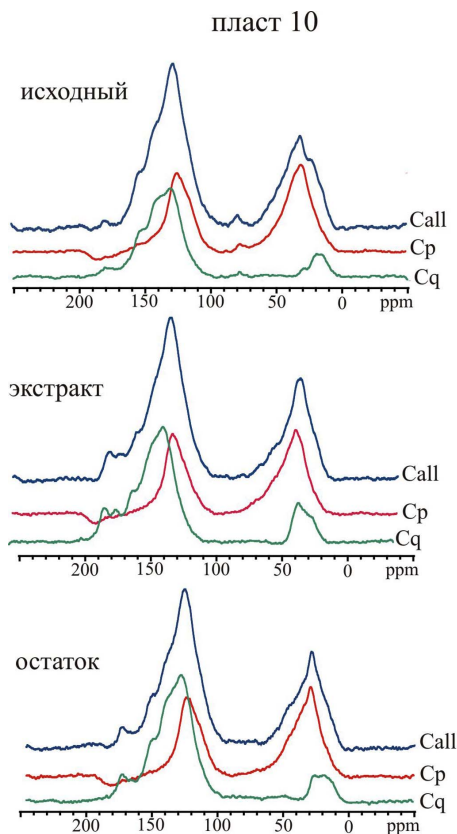


Рис. 5. Спектры ^{13}C ЯМР исходного угля, экстракта и остатка до и после редактирования: C_{all} — все атомы углерода, C_{p} — протонированный углерод, C_{q} — непротонированный углерод

Fig. 5. ^{13}C NMR spectra of the initial coal, extracts and the remainder of the extract before and after spectral editing: C_{all} — all carbon atoms, C_{p} — protonated carbon, C_{q} — carbon unprotonated

новные направления изменений, протекающих в процессе обработки исходного угля N-метилпирролидоном. Значения Н/С и О/С существенно не изменяются в структуре при переходе от легкой фракции ИУ к ГПУ, за исключением образца 18-11. Здесь атомное отношение Н/С в легкой фракции и гиперугле составляет 0.90 и 1.18 соответственно, тогда как в других образцах колебания данного значения находятся в одном интервале, не превышающем 1. Повышенное значение Н/С для гиперугля образца 18-11 вполне соответствует полученному для него спектру ^{13}C ЯМР, в котором полоса, отвечающая за алифатический углерод, наиболее интенсивна относительно других образцов.

Значения атомного отношения Н/С резко возрастают от легкой фракции к гиперуглю, при этом наибольшее значение данного соотношения в гиперугле характерно для образца с наибольшим выходом экстракта (см. таблицу). Увеличение содержания азота в структуре полученных экстрактов может свидетельствовать о влиянии используемого органического растворителя (NMP) в процессе обработки им исходной массы угля. Появление новых сигналов в спектрах ЯМР гиперуглей подтверждает факт химического взаимодействия растворителя с химической структурой угля. Возможное взаимодействие NMP с углем подтверждает работа Т. Таканахаш и др. (Takanohashi et al., 1996), результатом этого взаимодействия является образование гелевой структуры экстракта.

Заключение

Изучена и подтверждена возможность получения гиперуглей из сырья шахты Интинская. По результатам предыдущих исследований углепетрографических особенностей углей этой шахты и полученных нами данных о составе ациклических и полициклических биомаркеров установлено, что образование данных ископаемых углей связано с преобразованием остатков высшей наземной растительности в сочетании с захоронением остатков водных растений. Метаморфизм углей невысок, и по разным методам оценки стадия катагенеза органического вещества варьирует от ПК_3 до МК_{1-2} , полициклические биомаркеры указывают при этом на несколько более низкую стадию катагенеза, чем данные по отражательной способности витринита. Экстракция углей N-метилпирролидоном позволяет получить выходы обеззоленного экстракта до 30 %.

Результаты спектроскопии ^{13}C ЯМР в твердом теле свидетельствуют об определенном сходстве химической структуры полученных экстрактов (гиперуглей) со структурой исходного угля. Отличительной особенностью строения гиперугля является появление N-содержащих (амидных) группировок, подтверждающее повышенным содержанием азота, выявленного по данным элементного анализа; отсутствие простых эфирных группировок и возрастание роли метиленовых звеньев ациклических структур.

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

Авторы благодарны д.г.-м.н. И.В. Гончарову за возможность выполнения пиролиза Rock-Eval в ТомскНИПИнефть, к.х.н. Б.М. Кондратенку за возможность выполнения элементного анализа в ИБ Коми НЦ УрО РАН.

Литература

1. 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. Сыктывкар. 2012. № 6. Вып. 258. С. 3—10.
2. Валяева О. В., Бушнев Д. А., Бурцев И. Н. Геохимия углей Неченского месторождения // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 8. Вып. 212. С. 2—5.
3. Гуляева Н. Д., Арефьев О. А., Емец Т. П., Соколов В. Л., Петров Ал. А. Закономерности распределения нормальных и изопреноидных алканов в гумусовых углях // Химия твердого топлива. 1978. № 1. С. 45—51.
4. Гуляева Н. Д., Арефьев О. А., Соколов В. Л., Петров Ал. А. Закономерности распределения нормальных и изопреноидных алканов в углях различной стадии метаморфизма // Химия твердого топлива. 1976. № 1. С. 106—111.
5. Каширцев В. А., Москвин В. И., Фомин А. И., Чалая О. Н. Терпановые и стерановые углеводороды в углях различных генетических типов Сибири // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 4. С. 516—524.
6. Процько О. С., Медведева В. А. Петрографический состав и технологические характеристики углей 10, 11 пластов Интинского месторождения (южная часть Печорского бассейна) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2014. Вып. 238. С. 8—11.



7. Тимофеев П. П., Боголюбова Л. И., Копорулин В. И. Седиментогенез и литогенез отложений интинской свиты юга Печорского угольного бассейна. М.: Наука, 2002. 224 с. (Труды ГИН; Вып. 528).
8. Уленосная формация Печорского бассейна / Отв. ред. В. А. Дедеев. Л.: Наука, 1990. 176 с.
9. 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.
10. Cagniant D., Gruber R., Lacordaire C., Jasienko S., Machnikowska H., Salbut P. D., Bimer J., Puttmann W. Solvolysis of three Polish coal samples by treatment with N-methyl-2-pyrrolidinone and an NaOH/CH₃OH mixture // *Fuel*, 1990. V. 69. P. 902—910.
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. Cho W., Kim S., Choi H., Rhim Y., Lim J., Lee S., Yoo J. Characterization of chars made of solvent extracted coals // *Korean J. Chem. Eng.*, 2012. Vol. 29 (2). P. 190—195.
13. 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.
14. Koyano K., Takanohashi T., Saito I. Estimation of the extraction yield of coals by a simple analysis // *Energy & Fuels*, 2011. Vol. 25. P. 2565—2571.
15. Massiot D., Fayon F., Capron M., King I., Le Calvé S., Alonso B., Durand J. O., Bujoli B., Gan Z., Hoatson G. Modelling one and two-dimensional solid-state NMR spectra. // *Magn. Reson. Chem.*, 2002. V. 40. P. 70—76.
16. Moldowan J. M., Fago F. J., Carlson R. M. K., Young D. C., van Duyne G., Clardy J., Schoell M., Pillinger C. T., Watt D. S. Rearranged hopanes in sediments and petroleum // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1991. V. 55. P. 3333—3353.
17. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. The biomarker guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History. 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge 2005. 1155 p.
18. Seehra M. S., Ghosh B., Zondlo J. W., Mintz E. A. Relationship of coals with free radicals and coal macerals // *Fuel Process Technology* 18 (1988). P. 279—286.
19. 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.
20. Sinninghe Damste J. S., Schouten S., Volkman J. K. C₂₇—C₃₀ neohop-13(18)-enes and their saturated and aromatic derivatives in sediments: Indicators for diagenesis and water column stratification // *Geochem. et Cosmochim. Acta*, 2014. V. 133. P. 402—421.
21. Takanohashi T., Shishido T., Kawashima H., Saito I. Characterisation of Hyper Coals from coals of various ranks // *Fuel*, 87. 2008. P. 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. 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., 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 bitumoid biomarkers from coals and enclosing deposits of north-eastern Pechora coal basin). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar*, 2012, No. 6, 258, pp. 3—10.
2. Valyaeva O. V., Bushnev D. A., Burtsev I. N. *Geokhimiya uglei Nechenskogo mestorozhdeniya* (Geochemistry of coals from Nechenskoe deposit). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar*, 2012, No. 8, 212, pp. 2—5.
3. Gulyaeva N. D., Arefev O. A., Emets T. P., Sokolov V. L., Petrov A. I. *Zakonomernosti raspredeleniya normalnykh i izoprenoidnykh alkanov v gumusovykh uglyakh* (Regularities of distribution of normal and isoprenoid alkanes in humus coals). *Khimiya tverdogo topliva*, 1978, No. 1, pp. 45—51.
4. Gulyaeva N. D., Arefev O. A., Sokolov V. L., Petrov A. I. *Zakonomernosti raspredeleniya normalnykh i izoprenoidnykh alkanov v uglyakh razlichnoi stadii metamorfizma* (Regularities of distribution of normal and isoprenoid alkanes in coals at various stages of metamorphism). *Khimiya tverdogo topliva*, 1976, No. 1, pp. 106—111.
5. Kashirtsev V. A., Moskvina V. I., Fomin A. I., Chalaya O. N. *Terpanovy i steranovy uglevodorody v uglyakh razlichnykh geneticheskikh tipov Sibiri* (Terpane and sterane hydrocarbons in coals of different genetic types of Siberia). *Geologiya i geofizika*, 2010, V. 51, No. 4, pp. 516—524.
6. Protsko O. S., Medvedeva V. A. *Petrograficheskii sostav i tehnologicheskie harakteristiki uglei 10, 11 plastov Intinskogo mestorozhdeniya (yuzhnaya chast Pechorskogo basseina)* (Petrographic composition and technological characteristics of coals from beds 10 and 11 of Inta deposit). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar*, 2014, 238, pp. 8—11.
7. Timofeev P. P., Bogolyubova L. I., Koporulin V. I. *Sedimentogenez i litogenez otlozhenii intinskoi svity yuga Pechorskogo ugolnogo basseina* (Sedimentogenesis and lithogenesis of deposits of Inta suite of southern Pechora coal basin). Moscow, Nauka, 2002, 224 pp.
8. *Uglennosnaya formatsiya Pechorskogo basseina* (Coal bearing formation of Pechora basin). Editor V. A. Dedeev. Leningrad, Nauka, 1990, 176 pp.
9. 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.
10. Cagniant D., Gruber R., Lacordaire C., Jasienko S., Machnikowska H., Salbut P. D., Bimer J., Puttmann W. Solvolysis of three Polish coal samples by treatment with N-methyl-2-pyrrolidinone and an NaOH/CH₃OH mixture. *Fuel*, 1990, V. 69, pp. 902—910.
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), pp. 52—56.
12. Cho W., Kim S., Choi H., Rhim Y., Lim J., Lee S., Yoo J. Characterization of chars made of solvent extracted coals. *Korean J. Chem. Eng.*, 2012, Vol. 29 (2), pp. 190—195.
13. 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.

14. Koyano K., Takanohashi T., Saito I. Estimation of the extraction yield of coals by a simple analysis. *Energy & Fuels*, 2011, Vol. 25, pp. 2565—2571.
15. Massiot D., Fayon F., Capron M., King I., Le Calvé S., Alonso B., Durand J. O., Bujoli B., Gan Z., Hoatson G. Modelling one and two-dimensional solid-state NMR spectra. *Magn. Reson. Chem.*, 2002, V. 40, pp. 70—76.
16. Moldowan J. M., Fago F. J., Carlson R. M. K., Young D. C., van Duyne G., Clardy J., Schoell M., Pillinger C. T., Watt D. S. Rearranged hopanes in sediments and petroleum. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1991, V. 55, pp. 3333—3353.
17. Peters K. E., Walters C. C., Moldowan J. M. *The biomarker guide: Biomarkers and Isotopes in Petroleum Exploration and Earth History*. 2nd Ed. Cambridge University Press, Cambridge 2005, 1155 p.
18. Seehra M. S., Ghosh B., Zondlo J. W., Mintz E. A. Relationship of coals with free radicals and coal macerals. *Fuel Process Technology* 18 (1988), pp. 279—286.
19. 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, pp. 385—390.
20. Sinninghe Damste J. S., Schouten S., Volkman J. K. C₂₇—C₃₀ neohop-13(18)-enes and their saturated and aromatic derivatives in sediments: Indicators for diagenesis and water column stratification. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2014, V. 133, pp. 402—421.
21. Takanohashi T., Shishido T., Kawashima H., Saito I. Characterisation of Hyper Coals from coals of various ranks. *Fuel*, 87, 2008, 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, pp. 1128—1132.
23. 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), pp. 1105—1106.



РЕСУРСНЫЙ И СТОИМОСТНОЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО РЕГИОНА

С. К. Кузнецов, Н. Н. Тимонина, Д. С. Кузнецов

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Проведен анализ состояния минерально-сырьевой базы Арктической зоны Тимано-Североуральского региона, включая Воркутинский район Республики Коми, Ненецкий автономный округ, о. Вайгач, архипелаг Новая Земля. Представлены сведения о ресурсах основных полезных ископаемых — нефти и газа, энергетических и коксующихся углей, свинцово-цинковых, марганцевых, медных хромовых, баритовых руд, золота, флюорита. Показано, что наряду с нефтегазовыми и угольными месторождениями в разработку могут быть вовлечены Хойлинское баритовое, Павловское свинцово-цинковое, Амдерминское флюоритовое месторождения. Выделены перспективные, но еще слабо изученные площади, представляющие интерес в отношении различных полезных ископаемых. Впервые выполнена стоимостная оценка полезных ископаемых. Согласно проведенным расчетам, наибольшую стоимость имеют ресурсы и запасы нефти и газа, угля, свинцово-цинковых, марганцевых и хромовых руд. Арктическая зона Тимано-Североуральского региона характеризуется значительным ресурсным и стоимостным потенциалом и заслуживает большого внимания при освоении Российской Арктики и Субарктики.

Ключевые слова: Арктика, Северный Тиман, Полярный Урал, Пай-Хой, Новая Земля, о. Вайгач, нефть, газ, уголь, рудные месторождения, стоимостная оценка.

RESOURCE AND VALUE POTENTIAL OF MINERAL RESOURCES OF ARCTIC ZONE OF TIMAN-NORTHERN URAL REGION

S. K. Kuznetsov, N. N. Timonina, D. S. Kuznetsov

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

We analyzed the mineral resource base of the Arctic zone of the Timan-Northern Ural region, including Vorkuta area, Komi Republic, Nenets Autonomous District, Vaygach Island, Novaya Zemlya archipelago. We presented data on the main mineral resources — oil and gas, energy and coking coals, lead-zinc, manganese, copper, chromium, barite ores, gold, fluorite. We showed that together with oil, gas and coal deposits the Khoylinskoe barite, Pavlovskoe lead-zinc, Amderminskoe fluorite deposits could be involved into the development. We determined promising, but still poorly studied areas, which are interesting for different minerals. For the first time we carried out the evaluation of minerals. The resources and reserves of oil and gas, coal, lead, zinc, manganese and chrome ores were the most valuable. The arctic zone of the Timan-Northern Ural region is characterized by considerable resource and value potential and deserves a great attention during the development of Russian Arctic and Subarctic regions.

Keywords: Arctic, Northern Timan, Polar Urals, Pay-Khoy, Novaya Zemlya, Vaygach Island, oil, gas, coal, ore deposits, evaluation.

К Арктической заполярной зоне Тимано-Североуральского региона относится Ненецкий автономный округ Архангельской области, Воркутинский и частично Усинский, Интинский и Усть-Цилемский районы Республики Коми. В этой зоне находятся месторождения нефти и газа, угля, разрабатываемые в течение уже многих лет и играющие важнейшую роль в социально-экономическом развитии территорий. Кроме того, на Северном Тимане, Полярном Урале, Пай-Хое, о. Вайгач, архипелаге Новая Земля известны месторождения и проявления хромовых и марганцевых руд, полиметаллов, меди, никеля, молибдена, золота, алмазов, барита, флюорита, сведения о которых изложены во многих работах (Коровкин и др., 2003; Твердые полезные ископаемые архипелагов и островов..., 2010; Основные черты геологического строения..., 2010; Геология и полезные ископаемые..., 2011; Тарбаев, Хабаров, 2013; Асхабов и др., 2015 и др.). В связи с возросшим в последнее время вниманием к проблемам освоения арктических территорий нами систематизиро-

ваны имеющиеся данные о запасах и ресурсах полезных ископаемых и проведена их стоимостная оценка.

Нефть и газ

В Арктической зоне находится значительная часть территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Месторождения нефти и газа расположены в Ненецком автономном округе (НАО), Усинском и Воркутинском районах Республики Коми (см. рисунок). В НАО выявлено 91 месторождение. К наиболее крупным из них относятся Торавейское, Харьягинское, Наульское, нефтяные месторождения им. Требса, им. Титова, Южно-Хыльчуйское газонефтяное месторождение, Василковское и Коровинское газоконденсатные месторождения. В Усинском и Воркутинском районах Республики Коми (РК) находится более 40 месторождений нефти и газа (Усинское, Возейское, Верхневозейское, Среднемакарихинское, Баяндыское и др.).

В табл. 1 приведены сведения о запасах и ресурсах нефти и газа Арктической зоны Тимано-Печорской про-

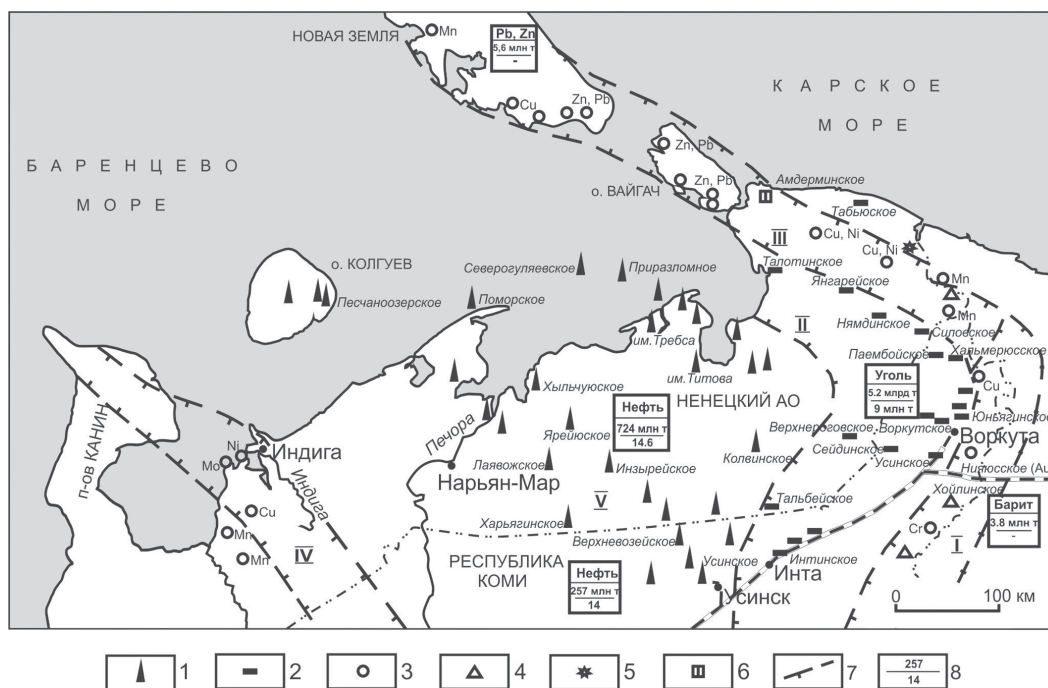


Схема размещения полезных ископаемых в Арктической зоне Тимано-Североуральского региона: 1—6 — месторождения: 1 — нефти и газа, 2 — угольные, 3 — металлических полезных ископаемых, 4 — барита, 5 — алмазов, 6 — флюорита; 7 — границы минерогенических зон: I — Западно-Уральской и Центрально-Уральской (Центрально-Уральское поднятие), II — Предуральской, включая Печорский угольный бассейн, III — Пайхойско-Новоземельской, IV — Канино-Тиманской, V — Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции; 8 — запасы полезных ископаемых (под чертой — объемы добычи 2015 г.)

Map of mineral resources in the Arctic zone of Timan-Northern Ural region: 1—6 — deposits: 1 — oil and gas, 2 — coal, 3 — metals, 4 — barites, 5 — diamonds, 6 — fluorite; 7 — boundaries of mineragenic zones: I — Western Ural and Central Ural (Central Ural uplift), II — Subural including Pechora coal basin, III — Paykhoy-Novaya Zemlya, IV — Kanin-Timan, V — Timan-Pechora petroliferous province; 8 — mineral reserves (under dash — production volumes in 2015)

винции (Куранов и др., 2013; Прищепа и др., 2014 и др.). Запасы нефти категории A+B+C₁ составляют 980.8 млн т, газа — 490.3 млрд м³. Основная их часть находится в распределенном фонде недр. При этом запасы и ресурсы нефти и газа в НАО значительно выше, чем в Арктической зоне РК. Имеются перспективные слабоизученные площади, где могут быть открыты новые месторождения. В частности, в Усинском районе РК это Денисовская впа-

дина, Харьяга-Усинский и Колвависовский нефтегазоносные районы, в Воркутинском районе — Коротайхинский, Воркутинский, Кочмесский и другие районы. Большой интерес представляют районы шельфа Баренцева моря.

В 2015 г. объемы добычи нефти в Тимано-Печорской провинции (в основном в ее арктической зоне) достигли 29.4 млн т, из них в НАО — 14.6 млн т, в Республике Коми — 14.8 млн т. Добычные работы проводятся многими ком-

Таблица 1. Запасы и ресурсы нефти и газа арктической зоны Тимано-Печорского нефтегазоносного бассейна

Table 1. Oil and gas reserves and resources of Arctic zone of Timan-Pechora oil and gas basin

№ пп No.	Районы / Areas	Запасы / Reserves A+B+C ₁	Запасы / Reserves C ₂	Ресурсы / Resources C3+D
1	Ненецкий автономный округ / Nenets autonomous district: нефть, млн т / Oil, mln t газ, млрд м ³ / Gas, bn m ³	724 489	333 55	358 116
2	Усинский район / Usink region: нефть, млн т / Oil, mln t газ, млрд м ³ / Gas, bn m ³	257 1.3	45 0.8	99 9
3	Арктическая зона в целом / All Arctic zone: нефть, млн т / Oil, mln t газ, млрд м ³ / Gas, bn m ³	981 490.3	378 55.8	457 125

Примечание. В Воркутинском районе предварительно оцененные (прогнозируемые) ресурсы нефти составляют около 50 млн т, газа 160 млрд м³.

Note. In Vorkuta area predicted oil resources are 50 mln t, gas 160 bn m³.



паниями, в частности ООО «Лукойл-Коми», ООО «РН — Северная нефть», ЗАО «НЭМ ОЙЛ», ООО «Полярное сияние», ООО «Русветпетро» и другими.

Уголь

В Воркутинском районе Республики Коми и Ненецком автономном округе сосредоточены основные месторождения угля Печорского бассейна. Угольные месторождения связаны с отложениями пермского возраста и приурочены в основном к Предуральскому краевому прогибу, Каратаихинской и Карской впадинам. В Арктическую зону входят Воркутский, Хальмерьюский углепромышленные районы, Карский, Коротаихинский и северная площадь Шарьюско-Адзвинского угленосных районов, в пределах которых находятся многочисленные угольные проявления и разведанные месторождения энергетических и коксующихся углей (Куклев и др., 2000; Боровинских и др., 2008; и др.).

Ресурсы углей категории $P_1+P_2+P_3$ составляют 154.6 млрд т, из них коксующихся — 20.8 млрд т, запасы категории $A+B+C_1$ — 5.2 млрд т, из них коксующихся — 2.9 млрд т (табл. 2). В распределенном фонде недр находится приблизительно 23 % (1.2 млрд т) от их общих промышленных запасов. Доля запасов коксующихся углей составляет более 50 %. Основная часть запасов углей, в том числе коксующихся, находится в Воркутинском районе Республики Коми. Площади распространения коксую-

щихся углей охватывают Хальмерьюский угольный район и восточную часть Воркутинского района. Вместе с этим ресурсы углей (преимущественно энергетических) в НАО выше, чем в Воркутинском районе. Значительная их часть сосредоточена на Верхнероговском, Янгареиском, Нямдинском месторождениях.

В настоящее время ОАО «Воркутауголь» разрабатываются Воркутское, Воргашорское месторождения, находящиеся в Воркутинском районе Республики Коми (шахты Заполярная, Воркутинская, Варгашорская, Комсомольская). Разрабатывается также Юньягинское месторождение (разрез Юньягинский). Ежегодная добыча угля в последнее время составляет около 9 млн т. Разведаны Усинское, Нижнесырьягинское и Верхнесырьягинское месторождения. Угли используются в энергетической и коксохимической промышленности. Основными потребителями являются Череповецкий, Новолипецкий, Нижнетагильский, Магнитогорский металлургические комбинаты, Московский коксогазовый завод, предприятия энергетики и коммунально-бытового хозяйства.

Рудные полезные ископаемые

В Воркутинском районе РК на Полярном Урале в пределах Войкар-Сыньинского и Райизского ультрабазитовых массивов имеются перспективные площади и проявления хромовых руд (Основные черты геологического строения...

Таблица 2. Запасы и ресурсы угля арктической зоны Печорского бассейна, млрд т

Table 2. Arctic Pechora coal reserves and resources, bn t

№ пп No.	Районы / Areas	Запасы / Reserves $A+B+C_1$	Запасы / Reserves C_2	Ресурсы / Resources $P_1+P_2+P_3$
1	Воркутинский район / Vorkuta: уголь каменный / coal в т. ч. коксующийся (incl. coking)	5.1 2.9	0.35 0.07	56.5 17.6
2	Ненецкий автономный округ / Nenets уголь каменный / coal в т. ч. коксующийся / incl. coking	0.1 0.06	0.03 -	98.1 3.2
3	Арктическая зона в целом / All Arctic уголь каменный / coal в т. ч. коксующийся / incl. coking	5.2 2.9	0.4 0.07	154.6 20.8

2010 и др.). Выделяется Хойлинско-Лагортинский рудный узел, включающий Хойлинское, Кечпельское, Харотское, Верхнелагортинское рудные поля. Ресурсы хромовых руд составляют более 125 млн т (табл. 3). На восточном склоне Полярного Урала (Тюменская область) разрабатывается месторождение Центральное. Хромовые руды поставляются на Челябинский электрометаллургический комбинат.

В непосредственной близости от хромовых проявлений на западном склоне Полярного Урала выделяется Собско-Пальникский баритоносный район. Здесь находятся Хойлинское рудное поле с Хойлинским месторождением и Малохойлинским проявлением и Пальникское рудное поле с Пальникским проявлением. Качество руд достаточно высокое, и значительная их часть практически без обогащения пригодна для производства утяжелителей буровых растворов. Вместе с этим барит может использоваться в цементной, бумажной, стекольной, химической, лакокрасочной промышленности, при производстве пластмасс,

керамики. Запасы руды категории $B+C_1+C_2$ составляют около 16 млн т (Коровкин и др., 2003). Хойлинское месторождение разрабатывалось с 1998 г. в течение нескольких лет, впоследствии работы были прекращены в связи с проблемами реализации баритовых концентратов.

В северной части Полярного Урала выявлено Саурипейское проявление меди, относящееся к типу медистых песчаников. В качестве попутного компонента в медных рудах присутствует серебро. В Енганепэ-Манитаньрдском районе известны коренные проявления золота. В манитаньрдской части района выделяются два рудных поля: Нияхойское и Верхненияюское. В пределах последнего находится Верхненияюское проявление. Руды существенно пирит-арсенипиритовые и относятся к категории упорных с трудноизвлекаемым золотом. Запасы золота категории C_2 составляют 3.4 т, запасы серебра — 10.9 т, мышьяка — 11.8 тыс т (Коровкин и др., 2003). Наряду с коренными золоторудными проявлениями в Енганепэ-Мани-

Таблица 3. Запасы и ресурсы рудных полезных ископаемых Воркутинского района Республики Коми (Полярный Урал)

Table 3. Ore reserves and resources of Vorkuta area in Komi Republic (Polar Urals)

№ пп No.	Полезные ископаемые / Mineral resources	Месторождения, площади / Deposits	Запасы / Reserves		Ресурсы / Resources		
			A+B+C ₁	(C ₂)	P ₁	P ₂	P ₃
1	Хромовые руды, млн т / Chromite ores, mln t	Хойлинско-Лагортинский рудный узел / Khoylinsko-Lagortinsky ore cluster	-	-	20.3	90.4	14.4
2	Медь, тыс. т / Cu, thous. t Серебро, тыс. т / Ag, thous. t	Саурипейское проявление / Sauripeyskoe occurrence	-	-	0	300 1	-
3	Золото рудное, т / Ore gold, t	Енганепэ-Манитаньрдский район / Enganepe- Manitanyrdsky area	-	3.4	5.5	14.5	100
4	Золото россыпное, кг / Alluvial gold, kg	Енганепэ-Манитаньрдский район / Enganepe- Manitanyrdsky area	-	-	612	98	3000
5	Баритовая руда, млн т / Barites, mln t	Хойлинское месторождение, Малохойлинское и Пальникское проявления / Khoylinskoe deposit, Malokhoylinskoe and Palnikskoe occurrences	3.77	13.2	17.9	12.4	-

таньрдском районе имеются небольшие по запасам золотоносные россыпи (Есто-Шор, Изья-Вож и др.).

В Ненецком автономном округе на Пай-Хое, в его юго-восточной части, в Кара-Силовском рудном узле выявлены многочисленные проявления карбонатных и оксидных марганцевых руд (Юбилейное, Нядейское и др.). Ресурсы марганцевых руд составляют около 120 млн т (табл. 4). Наряду с проявлениями марганца в районе р. Кара известны баритовые проявления (Карский баритовый узел), наиболее крупным из которых является Карское. Здесь же выделяется Карский бокситовый узел, включающий Карскую (проявления Карское-1, Карское-2, Профильное и др.), Терибейскую (Терибейское проявление) и Силоваихинскую площади. В центральной зоне Пай-Хоя выявлен целый ряд медно-никелевых проявлений и участков: Первый, Дальний, Длинный, Крутой, Малый, Северный, Центральный и др.

Кроме того, на Пай-Хое широко развита флюоритовая минерализация. Выделяется несколько флюоритовых районов: Амдерминский, Среднепайхойский, Южнопайхойский. Флюоритовые проявления известны также на о. Вайгач и на Новой Земле (Саханинская и Крестовская флюоритовые зоны). Прогнозные ресурсы флюорита категории P₃ значительные. Флюорит может использоваться в металлургической, химической промышленности, в стекольном и эмалевом, цементном производстве. Наиболее крупным является Амдерминское месторождение, которое разрабатывалось до 1951 г. и затем было законсервировано. Согласно проведенной в то время оценке, запасы флюорита составляют около 700 млн т (Юшкин и др., 2007). Наиболее чистые разновидности флюорита пригодны для синтеза оптических монокристаллов.

Таблица 4. Запасы и ресурсы рудных полезных ископаемых Ненецкого автономного округа

Table 4. Ore reserves and resources in Nenets autonomous district

№ пп No.	Полезные ископаемые / Mineral resources	Месторождения, площади / Deposits	Ресурсы / Resources		
			P ₁	P ₂	P ₃
1	Марганцевые руды, млн т / Manganese ores, mln t	Пешская площадь (в т. ч. Безмошинское и Прищати- ническое проявления) / Peshskaya area (including Bezmo- shitskoe and Prishchatinitskoe occurrences)	0.07	1	317
		Пай-Хой (Кара-Силовский рудный узел) / Pay-Khoy (Kara-Silovsky ore cluster)		20	100
2	Медь, тыс. т / Cu, thous. t	Северо-Тиманский рудный узел (Ручьевая площадь) / Northern Timan ore cluster (Ruchevaya area)	-	800	-
3	Цинк, тыс. т / Zn, thous. t	То же / same	-	700	
4	Молибден, тыс. т / Mo thous. t	Северо-Тиманский рудный узел (проявление Мыс Большой Румяничный) / Northern Timan ore cluster (Mys Bolshoy rummyanichny)	-	-	135
5	Никель, тыс. т / Ni, thous. t	Северо-Тиманский рудный узел (Бугровское рудное поле) / Northern Timan ore cluster (Bugrovskoe ore field)	7.5	23.7	2000
6	Алюминий (бокситы), млн т / Aluminum (bauxites), mln t	Пай-Хой (Карский бокситовый узел) / Pay-Khoy (Karsky bauxite cluster)	-	44	210
7	Баритовая руда, млн т / Barite ores, mln t	Пай-Хой (Карский баритовый узел) / Pay-Khoy (Karsky barite cluster)	-	2.9	14.4
8	Алмазы, млн карат / Diamonds, mln ct	Северо-Тиманский район / Northern Timan area	-	-	30
9	Флюорит, млн т / Fluorite, mln t	Пай-Хой (в т.ч. Амдерминское месторождение) / Pay- Khoy (including Amderminskoe deposit)	-	-	20



В северной части Пай-Хоя имеются проявления алмазов, связанные с Карской астроблемой. Алмазы мелкие, технические. Прогнозные ресурсы алмазов значительные, однако их востребованность на внутреннем и мировом рынках сомнительна.

На Северном Тимане в Ненецком автономном округе выделяется Северо-Тиманский рудный район. Здесь известно большое количество проявлений и точек медной минерализации (Ручьевая площадь). Кроме того, выделяется Румяннично-Великорецкое рудное поле, где находится молибденовое рудопоявление Мыс Большой Румянничный, а также Бугровская рудная площадь, в пределах которой выявлены медно-никелевые проявления Ближнее, Дальнее, Оленье и Каменное. В бассейне р. Пеша (юго-восточная оконечность Чешской губы, в восточной части Пешской впадины, вблизи ее сочленения с Тиманским кряжем, выявлена Пешская марганцевоносная площадь с Безмошицким и Прищатицким проявлениями. Руды карбонатные, карбонатно-оксидные, оксидные. Прогнозные ресурсы руд составляют около 320 млн т.

Вдоль всего Тимана, включая его северное окончание, протягивается Тиманская алмазоносная зона. В пределах этой зоны известны находки алмазов в древних и современных россыпях. Прогнозные ресурсы алмазов Северо-Тиманского района по категории P_3 составляют около 30 млн карат. Коренные источники алмазов Тимана не установлены.

На о. Вайгач, в основном на его юго-западном побережье (Лямчинский рудный узел), известны небольшие свинцово-цинковые проявления (Раздельное, Красное, Пайгото, Талата-Сале, Цинковый Нос). В рудах присутствуют примеси кадмия, серебра, германия, золота. Как показано в табл. 5, запасы цинка и свинца невелики, ресурсы разных категорий суммарно достигают 4 млн т (Коровкин и др., 2003 и др.). С 1931 по 1934 гг. на месторождениях Раздельное и Красное велась добыча свинцово-цинковых руд, впоследствии работы были прекращены. В северо-западной части о. Вайгач выявлен Соболевский меденосный узел, включающий ряд мелких проявлений (Соболевское, Седовское, Утиное, г. Медная).

На архипелаге Новая Земля, на юго-западной оконечности о. Южный, выделяется крупный Рогачевско-Тайнинский марганцево-рудный район с преимущественно карбонатными рудами (Твердые полезные ископаемые..., 2010). Имеются проявления высококачественных существенно оксидных руд (Северо-Тайнинское рудное поле). Прогнозные ресурсы марганцевых руд Рогачевско-Тайнинского района категории P_2 (Рогачевское проявление) составляют 535 млн т, категории P_3 — около 18 млн т (табл. 6).

На северо-западе Южного острова широко развита свинцово-цинковая минерализация. Наиболее крупным является Безымянинский рудный узел, включающий Пав-

ловское рудное поле (Павловское месторождение) и Северное рудное поле. Сопутствующими компонентами в свинцово-цинковых рудах являются серебро и кадмий, а также сурьма, таллий, индий, германий. Суммарные запасы свинца и цинка Павловского месторождения по категории C_1+C_2 составляют 5.6 млн т, ресурсы категории P_1 — 7 млн т, категории P_2 (Павловское рудное поле в целом) — 12 млн т (Твердые полезные ископаемые..., 2010 и др.). Наряду с Безымянинским рудным узлом на Южном острове выделяется Шумилихинский и Омудевский рудные узлы.

Вдоль юго-западного побережья Южного острова прослеживается Костиншарская рудная зона, включающая мелкие медные проявления. На Северном острове Новой Земли выделяется Адмиралтейская марганцевоносная зона карбонатных и кремнисто-карбонатных руд (Черногорский рудный узел).

Кроме отмеченных выше полезных ископаемых на Северном Тимане, Полярном Урале, Пай-Хое и в других районах имеются проявления камнесамоцветного сырья, горного хрусталя, строительных материалов (глины, пески, песчано-гравийные смеси, гравий, щебень, сырье для производства цемента и бетонных изделий и др.).

Следует заметить, что многие арктические территории Тимано-Североуральского региона изучены относительно слабо, проведена лишь оценка ресурсного потенциала различных полезных ископаемых. К числу перспективных и заслуживающих дальнейшего изучения наряду с нефтегазоносными площадями можно отнести Коротихинский угленосный район (высококачественные угли), Северо-Тиманский район (марганец, медь, никель, молибден), Кара-Силловский и другие районы Пай-Хоя (марганец, никель, медь), Безымянинский и Рогачевско-Тайнинский районы Новой Земли (полиметаллы, марганец), Хойлинско-Лагортинский и Манитаньрдский районы Полярного Урала (хром, золото).

Стоимостная оценка и востребованность минерально-сырьевых ресурсов

Нами проведена стоимостная оценка запасов и ресурсов различных полезных ископаемых в недрах арктической зоны Тимано-Североуральского региона без учета затрат на добычу и переработку. Ранее с различной степенью полноты такая оценка проводилась для отдельных районов Республики Коми нами и другими авторами (Бурцева, Бурцев, 2009; Калинин, 2010; Кузнецов, 2013). В соответствии с методикой, изложенной в работе (Богатство недр..., 2008), оценивались запасы полезных ископаемых категории ABC_1+C_2 , суммарно — запасы и ресурсы полезных ископаемых, а также востребованные запасы, находящиеся в распределенном фонде недр. В общем виде стоимость полезных ископаемых в недрах (БН — богатство недр) оценива-

Таблица 5. Запасы и ресурсы рудных полезных ископаемых о. Вайгач

Table 5. Ore reserves and resources in Vaygach Island

№ пп No.	Полезные ископаемые / Mineral resources	Районы. Месторождения / Areas. Deposits	Запасы / Reserves C_2	Ресурсы / Resources		
				P_1	P_2	P_3
1	Свинец, тыс. т / Pb, thous. t	Вайгачский (Лямчинский) рудный узел: проявления Раздельное, Красное и др. / Vaygach (Lyamchinsky) ore cluster: Razdelnoe, Krasnoe deposits etc.	-	0.5	68	260
2	Цинк, тыс. т / Zn, thous. t	То же / Same	9.0	22.8	705	3400

Таблица 6. Запасы и ресурсы рудных полезных ископаемых архипелага Новая Земля

Table 6. Ore reserves and resources in the Novaya Zemlya Archipelago

№ пп No.	Полезные ископаемые / Mineral resources	Районы, месторождения / Areas, deposits	Запасы / Reserves (C ₁ +C ₂)	Ресурсы / Resources	
				(P ₁ +P ₂)	P ₃
1	Марганцевые карбонатные руды, млн т / Manganese carbonate ores, mln t	Рогачевско-Тайнинский район / Rogachevsko-Tayninsky area	-	539	17909
	Марганцевые оксидные руды, млн т / Manganese oxide ores, mln t	Северо-Тайнинская площадь / Severo-Tayninskaya area	-	3.2	-
2	Свинец, млн т / Pb, mln t + цинк, млн т / Zn, mln t	Безымянинский рудный узел, включая Павловское месторождение / Bezumyaninsky ore cluster including Pavlovskoe deposit	5.6	19.4	2,9
3	Медь, тыс. т / Cu, thous. t	Костиншарская рудная зона / Kostinsharskaya ore zone	-	-	30
4	Золото коренное, т / Vein gold, t	Черногорский рудный узел / Chernogorsky ore cluster	-	-	10
5	Флюорит, млн т / Fluorite, mln t	Саханинская флюоритоносная зона / Sakhaninskaya fluorite zone	-	-	20

ется по следующей формуле: $BH = M \times K_{\text{и}} \times K_{\text{п}} \times K_{\text{акт.зап.}} \times \Pi$, где M — масса (количество) запасов и прогнозных ресурсов; $K_{\text{и}}$ — коэффициент сквозного извлечения полезного ископаемого; $K_{\text{п}}$ — коэффициент приведения прогнозных ресурсов и предварительно оцененных запасов к запасам промышленных категорий; $K_{\text{акт.зап.}}$ — коэффициент активных запасов, Π — цена товарного продукта (руда, металл, оксиды металла и др.). Подобные расчеты являются весьма упрощенными, но тем не менее позволяют выразить запасы и ресурсы полезных ископаемых в стоимостном виде и предоставляют возможность стоимостной оценки недр различных регионов и их сопоставления на этой основе.

Согласно полученным данным, суммарная стоимость запасов и ресурсов полезных ископаемых рассматриваемой территории весьма значительная и превышает 250 трлн руб (табл. 7, 8, 9). Стоимость запасов промышленных категорий составляет около 50 трлн руб. Наиболее высокую стоимость имеют запасы нефти и газа — 28.5 трлн руб, далее следует уголь — 21.2 трлн руб. Стоимость запасов других полезных ископаемых намного ниже. Тем не менее можно отметить достаточно высокий

стоимостной потенциал свинцово-цинковых руд Новой Земли, баритовых руд Воркутинского района РК.

Интересно, что суммарная стоимость запасов полезных ископаемых в Воркутинском районе РК и НАО почти одинакова, хотя в НАО основная часть стоимости приходится на запасы нефти и газа, а в Воркутинском районе — на запасы угля. Стоимостной потенциал рудных полезных ископаемых Воркутинского района составляет 0.7, НАО — 0.1, о. Вайгач — 0.01, Новой Земли — 1.2 трлн руб.

В настоящее время наиболее востребованными являются месторождения нефти и газа, подавляющая часть которых, как отмечалось выше, находится в распределенном фонде недр. Актуальной задачей является обеспечение прироста запасов нефти и газа. Востребованы также угольные месторождения Воркутинского района, проводятся техническая модернизация шахт, осуществляются мероприятия, направленные на повышение эффективности углеобогащения, рост производительности труда, обеспечение безопасности, обсуждаются перспективы освоения ресурсной базы (Логинов, Смирнов, 2007; Бурый и др., 2013 и др.).

Таблица 7. Стоимость запасов и ресурсов нефти и газа в недрах арктической зоны Тимано-Печорского нефтегазового бассейна, трлн руб.

Table 7. Value of oil and gas reserves and resources of the Arctic zone of Timan-Pechora oil and gas basin, trln rub.

№ пп No.	Районы / Areas	Запасы / Reserves ABC ₁ +C ₂	Запасы+ресурсы / Reserves+resources (C ₃ +D)
1	Ненецкий автономный округ / Nenets Autonomous district:		
	Нефть / oil	18.8	21.5
	Газ / gas	4.2	4.6
	Всего / total	23	26.1
2	Усинский район / Usinsk area:		
	Нефть / oil	5.5	6.3
	Газ / gas	0.01	0.04
	Всего / total	5.51	6.34
3	Арктическая зона в целом / All Arctic:		
	Нефть / oil	24.3	27.8
	Газ / gas	4.21	4.64
	Всего / total	28.51	32.44

Примечание. Предварительно оцененные (прогнозируемые) ресурсы нефти и газа не учитывались.

Note. Predicted resources of oil and gas were not considered.



Таблица 8. Стоимость запасов и ресурсов угля в недрах Воркутинского района РК и Ненецкого АО, трлн руб.

Table 8. Value of coal reserves and resources in Vorkuta area of Komi Republic and Nenets AD, trln rub.

№ пп No.	Районы / Areas	Запасы / Reserves ABC ₁ +C ₂	В т. ч. востребованные запасы / Including in demand	Запасы+ресурсы / Reserves+ resources (P ₁ +P ₂ +P ₃)
1	<i>Воркутинский район РК / Vorkuta area:</i>			
	Уголь энергетический / coal	7.6	1.7	64.5
	Уголь коксующийся / coking coal	13.2	5.1	48.4
	Всего / Total	20.8	6.8	112.9
2	<i>Ненецкий АО / Nenets AD:</i>			
	Уголь энергетический / coal	0.2	0	116.3
	Уголь коксующийся / coking coal	0.2	0	5.9
	Всего / Total	0.4	0	122.2
3	<i>В целом Воркутинский район и Ненецкий АО / total Vorkuta and Nenets AD:</i>			
	Уголь энергетический / coal	7.8	1.7	180.8
	Уголь коксующийся / coking coal	13.4	5.1	54.3
	Всего / Total	21.2	6.8	235.1

Таблица 9. Стоимость запасов и ресурсов рудных полезных ископаемых в недрах Воркутинского района РК, Ненецкого АО, о. Вайгач и Новой Земли, млрд руб.

Table 9. Value of ore reserves and resources in Vorkuta area of Komi Republic, Nenets AD, Vaygach island and Novaya Zemlya, bn rub.

№ пп No.	Полезные ископаемые / Mineral resources	Запасы / Reserves ABC ₁ +C ₂	Запасы+ресурсы / Reserves and resources (P ₁ +P ₂)
<i>Воркутинский район РК / Vorkuta are of Komi Republic</i>			
1	Хромовые руды / Chromite ores	0	494
2	Медь (Cu) / Copper	0	39
3	Золото / Gold	0	13
4	Баритовые руды / Barite ores	91	195
	Всего / Total	91	741
<i>Ненецкий АО / Nenets AD</i>			
5	Марганцевые руды / Manganeeze ores	0	26
6	Медь (Cu) / Copper	0	52
7	Цинк (Zn) / Zinc	0	26
8	Никель (Ni) / Nickel	0	6.5
9	Алюминий (бокситы) / Aluminum (bauxites)	0	19.5
10	Баритовые руды / Barite ores	0	6.5
	Всего / Total	0	136.5
<i>о. Вайгач / Vaygach island</i>			
11	Цинк (Zn) / Zinc	0	13
12	Свинец (Pb) / Lead	0	0.7
	Всего / Total	0	13.7
<i>Новая Земля / Novaya Zemlya</i>			
13	Марганцевые руды / Manganeeze ores	0	682
14	Цинк (Zn) / Zinc	91	481
15	Свинец (Pb) / Lead	13	59
	Всего / Total	104	1222

В отличие от запасов нефти и газа запасы угля весьма значительные и позволяют увеличить объемы добычи как за счет флангов и глубоких горизонтов действующих шахт, так и за счет введения в разработку новых месторождений (Усинского, Нижнесырьягинского, Верхнесырьягинского и др.). Однако существует ряд проблем, связанных с качеством, себестоимостью и реализацией угля. Добыча наиболее востребованного коксующегося угля в основном зависит от потребностей горно-металлургических предприятий и, соответственно, состояния рынка металлов, развитие которого в последнее время замедлилось. Что касается энергетического угля, то такой уголь не является дефицитным, хотя его промышленное потребление весьма значительное. Наряду с Печорским бассейном огромные запасы энергетического угля находятся в Кузнецком

и Канско-Ачинском бассейнах, что ограничивает возможности роста угледобычи в Воркутинском районе, НАО и особенно в Интинском районе. Кроме того, внутренний спрос на энергетический уголь сдерживается относительной дешевизной природного газа, являющегося эффективным энергетическим сырьем. Наряду с внутренним потреблением существуют возможности экспорта угля. Однако мировой угольный рынок характеризуется высокой насыщенностью и в значительной степени контролируется США, Австралией, Индонезией. В сложившихся условиях (с учетом остановки добычных работ на шахте Северная) в ближайшее время важно по крайней мере сохранение уровня добычи угля в Печорском бассейне. Тем не менее следует отметить, что конкурентным преимуществом Печорского бассейна являются значительные запасы



сы и ресурсы высококачественных углей. Инвестиционно привлекательными могут быть даже небольшие месторождения, разработка которых возможна открытым способом.

Остается актуальной проблема поиска новых направлений использования угля и развитие углехимии, что отмечается многими авторами (Леженцев, 2007 и др.). Хорошо известно, что на основе углей могут быть получены разнообразные продукты. Большой интерес, в частности, представляет производство беззольных гиперуглей, важной особенностью которых является высокая энергоэффективность (Бурцев и др., 2015).

Из месторождений других твердых полезных ископаемых в стадии подготовки к эксплуатации находится Павловское месторождение свинцово-цинковых руд на Новой Земле. При благоприятных условиях, наличии спроса и приемлемых цен может быть возобновлена эксплуатация Хойлинского баритового месторождения на Полярном Урале, Амдерминского флюоритового месторождения на Пай-Хое. На последнем возможна селективная добыча высококачественного флюорита для производства оптических изделий.

Заключение

Таким образом, Арктическая зона Тимано-Североуральского региона характеризуется значительным ресурсным и стоимостным потенциалом. Важнейшее место в структуре сырьевой базы занимают нефтегазовые и угольные месторождения, многие из которых разрабатываются. Основная часть разведанных к настоящему времени запасов нефти и газа сосредоточена в Ненецком автономном округе, угля — в Воркутинском районе Республики Коми. Имеются рудные месторождения с оцененными запасами полезных ископаемых: Хойлинское баритовое, Павловское свинцово-цинковое, Амдерминское флюоритовое, на которых могут быть организованы добычные работы. Выявлены районы, поля, проявления, представляющие интерес в отношении различных полезных ископаемых. Необходимо продолжение геологических работ, ориентированных как на уточнение геологического строения арктической зоны, так и на обнаружение новых месторождений.

Освоение месторождений полезных ископаемых и проведение геолого-разведочных работ осложняются суровыми климатическими условиями, слабо развитой транспортной инфраструктурой, конкурентностью на внутреннем и внешнем сырьевых рынках, низким внутренним спросом на многие виды сырья и высокотехнологичную продукцию. Представляется целесообразным комплексный (кластерный) подход к освоению минерально-сырьевых узлов. При таком подходе экономическая эффективность разработки месторождений может быть достигнута за счет интеграции различных предприятий и объединения финансовых затрат на строительство дорог, обогатительных предприятий, складских и ремонтных баз и других объектов общего пользования. Большое значение имеют уже существующие населенные пункты: Воркута, Нарьян-Мар, Амдерма, Индига. Важным фактором роста является ведущая разработка нефтегазовых и угольных месторождений, способствующая обживанию территорий и вовлечению в промышленный оборот месторождений других полезных ископаемых. Арктическая зона Тимано-Североуральского региона с учетом имеющихся здесь ресурсов нефти и газа, угля, рудных полезных ископаемых заслуживает большого внимания при освоении Российской Арктики и Субарктики.

Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН (проект № 45 «Нефтегазовые и минеральные ресурсы арктических территорий Республики Коми и Ненецкого автономного округа, перспективы их освоения»), проекта УрО РАН «Георесурсы арктических территорий Тимано-Уральского региона и перспективы их освоения» № 15-15-5-73, проекта УрО РАН № 15-18-5-46.

Литература

1. Асхабов А. М., Кузнецов С. К., Тарбаев М. Б., Бурцев И. Н., Тимонина Н. Н., Пыстин А. М. Минерально-сырьевая база Тимано-Североуральского региона и перспективы ее развития // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 3. С. 79—90.
2. Богатство недр России: Минерально-сырьевой и стоимостной анализ. 2-е изд., доп. и перераб. / Ред. Б. К. Михайлов, О. В. Петров, С. А. Кимельман. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 484 с.
3. Боровинских А. П., Тарбаев М. Б., Попов М. Я., Сегаль А. З., Шипунов А. П. Состояние и проблемы освоения сырьевой базы угля и горючих сланцев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 4. С. 60—65.
4. Бурцев И. Н., Бушнев Д. А., Котик О. С., Кузьмин Д. В., Машин Д. О., Бурцева И. Г. Нетрадиционные источники углеводородного сырья арктической зоны Европейского Северо-Востока России как основа развития новых отраслей промышленности // Известия Коми научного центра УрО РАН. Вып. 3(23). 2015. С. 71—78.
5. Бурцева И. Г., Бурцев И. Н. Экономическая оценка минеральных ресурсов муниципальных образований Республики Коми / Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар, 2009. Т. III. С. 272—275.
6. Бурый О. В., Калинина А. А., Луканичева В. П. Роль топливного сектора субарктических районов в экономике Республики Коми // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2013. № 5(29). С. 65—76.
7. Геология и полезные ископаемые России: В 6 т. Т. 1. Запад России и Урал. Кн. 2. Урал / Ред. О. А. Кондияйн, соред. А. А. Беляев, А. Н. Мельгунов, Н. А. Румянцева. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. 584 с.
8. Калинин Е. П. Минерально-сырьевой потенциал Республики Коми на современном этапе // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 6. С. 10—17.
9. Коровкин В. А., Турылева Л. В., Руденко Д. Г., Журавлев В. А., Ключникова Г. Н. Недрa Северо-Запада Российской Федерации. СПб.: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ, 2003. 520 с.
10. Кузнецов Д. С. Стоимостная оценка минерально-сырьевых ресурсов Республики Коми // Молодежь и наука на Севере: Материалы докладов II Всероссийской молодежной конференции. Сыктывкар, 2013. Т. II. С. 215—216.
11. Куклев В. П., Пичугин И. В., Подмарков А. В., Пухонто С. К., Тимонина Н. В., Трапезников Г. В. Атлас пермских углей Печорского бассейна. М.: Научный мир, 2000. 232 с.
12. Куранов А. В., Кутлинский А. А., Желудова М. С., Матвеева С. Ю., Зегер Н. А. Результаты оценки начальных суммарных ресурсов углеводородного сырья Республики Коми // Горный журнал. 2013. № 9. С. 57—61.



13. Лаженцев В. Н. Север России и региональные проблемы сырьевого сектора экономики // Горный журнал. 2007. № 3. С. 4—10.

14. Логинов А. К., Смирнов М. И. Модернизация угольных шахт Воркутинского промышленного района // Горный журнал. 2007. № 3. С. 41—45.

15. Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала / Ред. А. Ф. Морозов, О. В. Петров, А. Н. Мельгунов. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. 274 с.

16. Прищепа О. М., Отмас А. А., Макаревич В. Н., Теплов Е. Л., Никонов Н. И., Куранов А. В., Григорьев Г. А. Сырьевая база нефти и газа Тимано-Печорской провинции и перспективы их освоения // Проблемы воспроизводства запасов нефти и газа в современных условиях: Сборник статей, посвященный 85-летию ВНИГРИ. 2014. С. 32—38.

17. Прищепа О. М., Отмас А. А., Куранов А. В. Состояние и перспективы ресурсной базы углеводородов в Тимано-Печорском регионе // Геология нефти и газа. 2012. № 5. С. 75—80.

18. Тарбаев М. Б., Хабаров А. Б. Минеральные ресурсы — основа промышленного развития Республики Коми // Горный журнал. 2013. № 9. С. 4—8.

19. Твердые полезные ископаемые архипелагов и островов арктической континентальной окраины Евразии / Гл. ред. В. Д. Каминский; отв. ред. В. И. Ушаков, В. Д. Крюков. СПб.: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И. С. Грамберга», 2010. 336 с. (Тр. НИИГА — ВНИИОкеангеология, т. 216).

20. Юшкин Н. П., Кунц А. Ф., Тимонин Н. Н. Минералогия Пай-Хоя. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 292 с.

References

1. Askhabov A. M., Kuznetsov S. K., Tarbaev M. B., Burtsev I. N., Timonina N. N., Pystin A. M. *Mineralno-syrevaya baza Timano-Severouralskogo regiona i perspektivy ee razvitiya* (Mineral base of Timan-Northern Ural region and development prospects). Izvestiya Komi SC UB RAS, 2015, No. 3, pp. 79—90.

2. *Bogatstvo nedr Rossii. Mineralno-syrevoi i stoimostnoi analiz* (Rich mineral resources of Russia). Second edition. Eds. B. K. Mikhailov, O. V. Petrov, S. A. Kimelman. St. Petersburg, VSEGEI, 2008, 484 pp.

3. Borovinskikh A. P., Tarbaev M. B., Popov M. Ya., Segal A. Z., Shipunov A. P. *Sostoyanie i problemy osvoeniya syrevoy bazy uglya i goryuchih slantsev* (Condition and problems of development of raw base of coal and oil shales). *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. (Mineral resources of Russian. Economics and management), 2015, No. 4, pp. 60—65.

4. Burtsev I. N., Bushnev D. A., Kotik O. S., Kuzmin D. V., Mashin D. O., Burtseva I. G. *Netraditsionnye istochniki uglevodorodnogo syr'ya arkticheskoi zony evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii kak osnova razvitiya novykh otraslei promyshlennosti* (Non-traditional sources of hydrocarbon raw of arctic zone of European North-East of Russia). Izvestiya Komi SC UB RAS, No. 3(23), 2015, pp. 71—78.

5. Burtseva I. G., Burtsev I. N. *Ekonomicheskaya otsenka mineralnykh resursov munitsipalnykh obrazovaniy Respubliki Komi* (Economic evaluation of mineral resources of cities of Komi Republic). *Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii* (Geology and mineral resources of European North-East of Russia) Proceedings of conference. V. 3, Syktyvkar, 2009, pp. 272—275.

6. Buryi O. V., Kalinina A. A., Lukanicheva V. P. *Rol toplivnogo sektora subarkticheskikh raionov v ekonomike Respubliki Komi* (Role of fuel industry of subarctic regions in the econom-

ics of Komi Republic). *Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* (Economic and social changes: facts, trends, prognosis), 2013, No. 5(29), pp. 65—76.

7. *Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii* (Geology and mineral resources of Russia). V. 1, Western Russia and Urals. Book 2, Ural. Ed. O. A. Kondiain. Co-eds A. A. Belyaev, A. N. Melgunov, N. A. Romyantseva. St. Petersburg, VSEGEI, 2011, 584 pp.

8. Kalinin E. P. *Mineralno-syrevoi potentsial Respubliki Komi na sovremennom etape* (Mineral-raw potential of Komi Republic at modern stage). Vestnik of Institute of geology of Komi SC UB RAS, 2010, No. 6, pp. 10—17.

9. Korovkin V. A., Turyleva L. V., Rudenko D. G., Zhuravlev V. A., Klyuchnikova G. N. *Nedra Severo-Zapada Rossiiskoi Federatsii* (Mineral resources of North-West of Russian Federation). St. Petersburg, VSEGEI, 2003, 520 pp.

10. Kuznetsov D. S. *Stoimostnaya otsenka mineralno-syrevykh resursov Respubliki Komi* (Cost evaluation of mineral resources of Komi Republic). Proceedings of conference. V. 2, Syktyvkar, 2013, pp. 215—216.

11. Kuklev V. P., Pichugin I. V., Podmarkov A. V., Puhonto S. K., Timonina N. V., Trapeznikov G. V. *Atlas permskikh uglei Pechorskogo basseina* (Atlas of Permian coals of Pechora basin). Moscow, Nauchnyi mir, 2000, 232 pp.

12. Kuranov A. V., Kutlinskii A. A., Zheludova M. S., Matveeva S. Yu., Zeger N. A. *Rezultaty otsenki nachalnykh summarnykh resursov uglevodorodnogo syr'ya Respubliki Komi* (Results of evaluation of initial total hydrocarbon resources of Komi Republic). Gornyi zhurnal. 2013, No. 9, pp. 57—61.

13. Lazhentsev V. N. *Sever Rossii i regionalnye problemy syrevogo sektora ekonomiki* (Northern Russia and regional problems of raw sector of economics). Gornyi zhurnal, 2007, No. 3, pp. 4—10.

14. Loginov A. K., Smirnov M. I. *Modernizatsiya ugolnykh shaht Vorkutinskogo promyshlennogo raiona* (Modernization of coal mines of Vorkuta industry). Gornyi zhurnal, 2007, No. 3, pp. 41—45.

15. *Osnovnye cherty geologicheskogo stroeniya i mineralno-syrevoi potentsial Severnogo, Pripolyarnogo i Polyarnogo Urala* (Basic features of structure and mineral potential of Northern, Subpolar and Polar Urals). Eds. A. F. Morozov, O. V. Petrov, A. N. Melgunov. St. Petersburg, VSEGEI, 2010, 274 pp.

16. Prischepa O. M., Otmas A. A., Makarevich V. N., Teplov E. L., Nikonov N. I., Kuranov A. V., Grigorev G. A. *Syrevaya baza nefi i gaza Timano-Pechorskoi provintsii i perspektivy ih osvoeniya. Problemy vosproizvodstva zapasov nefi i gaza v sovremennykh usloviyakh* (Ore base of oil and gas of Timan-Pechora province and its development prospects. Problems of oil reproduction in modern conditions). Collection of articles, 2014, pp. 32—38.

17. Prischepa O. M., Otmas A. A., Kuranov A. V. *Sostoyanie i perspektivy resursnoi bazy uglevodorodov v Timano-Pechorskom regione* (Conditions and prospects of resource base of hydrocarbons in Timan-Pechora region). Geologiya nefi i gaza, 2012, No. 5, pp. 75—80.

18. Tarbaev M. B., Habarov A. B. *Mineralnye resursy - osnova promyshlennogo razvitiya Respubliki Komi* (Mineral resources — basis for industrial development of Komi Republic). Gornyi zhurnal, 2013, No. 9, pp. 4—8.

19. *Tverdye poleznye iskopaemye arhipelagov i ostrovov arkticheskoi kontinentalnoi okrainy Evrazii* (Solid mineral resources of archipelagos and islands of Arctic continental margin of Eurasia). Ed. V. D. Kaminskii, V. I. Ushakov, V. D. Kryukov. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 2010, 336 pp.

20. Yushkin N. P., Kunts A. F., Timonin N. N. *Mineralogiya Pai-Hoya* (Mineralogy of Pay-Khoy). Ekaterinburg, UB RAS, 2007, 292 pp.

НАНОРАЗМЕРНЫЕ MORFOLOGICHESKIE KAKTERISTIKI CHASTIC SINTECHESKIX POROSHKOV NATISITA I PARANATISITA

И. А. Перовский, Н. Н. Пискунова

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

Статья посвящена проблеме поиска и создания новых функциональных материалов на основе природных компонентов. Проведен синтез титаносиликата со структурой натисита $\text{Na}_2\text{TiSiO}_5$, который занимает особое место как материал с Na^+ -ионной проводимостью, пригодный для получения высокотехнологичной керамики. В качестве основного метода синтеза натисита был выбран гидротермальный автоклавный синтез с применением в качестве исходного компонента отходов фторидного обогащения лейкоксенового концентрата Ярегского месторождения, что позволяет в будущем решать проблемы комплексной переработки важного для республики минерального сырья.

Установлено, что увеличение времени синтеза с 6 до 24 часов приводит к формированию чистой фазы натисита через фазу паранатисита. С помощью метода атомно-силовой микроскопии (АСМ) впервые получены наноразмерные морфологические характеристики всех синтезированных порошков. Показано, что образцы с 6-часовой выдержкой являются шероховатыми не только в микро-, но и в наноразмерном масштабе. Возможно, эти порошки найдут свое применение в качестве сорбентов как имеющие наибольшую площадь поверхности слагающих частиц. По данным АСМ, образцы с 24-часовой выдержкой представляют собой хорошо сформированные кристаллические двойники прорастания типа «крест», поверхности пинакоида которых практически гладкие, на них редко встречаются микроразмерные включения. Шероховатости в наноразмерном масштабе на плоских участках для образцов данного порошка не обнаружено. Керамика, полученная спеканием таких частиц, должна обладать наиболее высокими ионопроводящими свойствами.

Ключевые слова: лейкоксен, титаносиликаты, наноморфология поверхности.

NANOSCALE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF PARTICLES OF THE SYNTHETIC NATISITE AND PARANATISITE POWDERS

I. A. Perovskiy, N. N. Piskunova

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article is devoted to obtaining of the new information in the development nanomineralogy ideas for functional materials. We performed the synthesis of the titanosilicate natisite $\text{Na}_2\text{TiSiO}_5$, which was special as material with Na^+ -ion conductivity suitable for preparing hi-tec ceramics. As the main synthesis method was chosen natisite autoclave hydrothermal synthesis, using as precursors the products of ammonium fluoride processing of the leucoxene Yarega deposit, allowing in the future to solve the problem of complex processing of mineral raw materials is important for the Komi republic. We found out that increasing synthesis time from six to twenty-four hours results in a pure natisite phase after a paranatisite phase. Nanoscale morphological characteristics for all powders were defined by the method of atomic force microscopy (AFM). We showed that the samples after six hours exposition are rough not only at micro-, but also at nanoscale. It is possible that these powders will be used as sorbents with the maximal surface area of composing particles. According to AFM the samples after twenty-four hours exposition represented well formed crystalline growth twins of cross type with practically smooth pinacoid surfaces and rare microscale inclusions. Nanoscale roughness on the flat areas was not determined for the samples of this powder. The ceramics, produced from such particles, should possess the highest ion-conductive characteristics.

Keywords: leucoxene, titanosilicates, surface nanomorphology.

Перспективными направлениями в развитии экономики России является ввод в эксплуатацию месторождений титановых руд, крупнейшие из которых находятся в Республике Коми, — Ярегского нефтетитанового месторождения и Пижемского месторождения лейкоксеновых руд. При решении практических вопросов вовлечения в разработку Ярегского месторождения как крупного источника сырья для титановой промышленности укоренилось мнение, что состав этого сырья своеобразный, нетрадиционный, сложный для использования. Обилие в рудном материале кремнезема, трудно отделимого от диоксида

титана, затрудняет переработку лейкоксеновых руд методами, освоенными промышленностью [2, 4, 8].

В Институте геологии Коми НЦ УрО РАН разрабатывается новая технология обескремнивания лейкоксеновых руд Ярегского месторождения с применением фторидных компонентов, в основе которой лежит предложенная В.А. Карелиным технологическая схема фторирования ильменитовых концентратов [3]. В качестве фторидного реагента нами был использован гидрофторид аммония (NH_4HF_2). В результате из товарных флотационных лейкоксеновых концентратов, содержащих 55—



65 % TiO_2 и 30–35 % SiO_2 , были получены высокотитановые продукты с содержанием 85–90 % TiO_2 и 1.0–2.0 % SiO_2 [6, 7]. Полученный концентрат пригоден для переработки в пигментный диоксид титана по хлоридному способу, а также может быть использован как компонент в керамических массах, например для обмазки электродов.

В процессе такого обогащения образуются кремнисто-титановые отходы. Важной задачей является разработка эффективной технологии их использования и переработки. Одним из перспективных направлений является получение на их основе титаносиликатов. Уникальная структура и поровая система, высокая устойчивость к радиации, изменению кислотно-основных свойств водных растворов, возможность регулирования состава и размера пор позволяют использовать титаносиликаты в процессах адсорбции, катионного обмена, катализа, сепарации газов, аккумуляции энергии (хранение и транспортировка водорода).

Целью настоящей работы был синтез из природного сырья титаносиликата со структурой натисита $\text{Na}_2\text{Ti}[\text{SiO}_4]\text{O}$ [5] и получение его наноразмерных морфологических характеристик. Натисит занимает особое место как материал с Na^+ -ионной проводимостью, пригодный для получения функциональной высокотехнологичной керамики с суперионной проводимостью, имеющей широкие перспективы [1]. Изучение морфологии поверхности отдельных структурных единиц, спеканием которых получается такая керамика, является важной задачей.

Экспериментальная часть

В качестве основного метода синтеза рассматриваемого титаносиликата был выбран гидротермальный автоклавный синтез, с применением в качестве исходного компонента (темплата) гидратированного осадка, полученного по фтораммонийному способу переработки лейкоксенового концентрата Ярегского месторождения. Для получения гидратированного осадка проводилось водное выщелачивание профторированного лейкоксена, позволяющее перевести неразложившиеся фторидные комплексы кремния и титана в раствор. Полученный раствор фильтровался. Постепенным добавлением водного раствора аммиака (~17 %) в фильтрат получались кремнисто-титановые концентраты. Для обеспечения гомогенности система интенсивно перемешивалась (скорость вращения магнитной мешалки 300 оборотов в минуту) при температуре $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. После осаждения, промывки и контрольной фильтрации гидратированный осадок выдерживался в сушильном шкафу в течение одного часа при температуре 100°C .

Для получения натисита был использован гидратированный осадок, содержащий (масс. %): 62 % SiO_2 , 28 % TiO_2 и 10 % примесей (Fe, Al, K, Ca, F). Высушенный осадок массой 1 г перетирали в ступке и смешивали с 80 мл раствора NaOH (1.5 М); полученную суспензию гомогенизировали в течение 20 минут. Гидротермальный синтез проводили в стальном автоклаве с тефлоновым вкладышем на 100 мл, степень заполнения ячейки составляла 80 %. Соотношение основных компонентов для направленного синтеза (моль): 1 TiO_2 : 3 SiO_2 : 17.4 Na_2O : 1270 H_2O . Температура синтеза составляла 250°C . Гидротермальную обработку осуществляли в течение 12 часов. По окончании процесса автоклав охлаждали на воздухе, вне печи, до комнатной температуры. Образцы продукта извлекали, 4–5 раз промывали дистиллированной водой, затем высушивали при 103°C . Для исследования фазового со-

става синтезированных продуктов применяли методы рентгенофазового анализа (РФА) (дифрактометр XRD-6000 фирмы SHIMADZU, излучение $\text{Cu K}\alpha$ в интервале углов отражения 2θ от 2 до 60) и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с энергодисперсионной приставкой (растровый микроскоп высокого разрешения Tescan Vega 3 LMN). Морфология частиц в микромасштабе также изучена с помощью СЭМ. Однако, несмотря на то, что этот метод определяет форму и взаимное расположение частиц, слагающих смесь, его разрешающей способности недостаточно для того, чтобы в полной мере охарактеризовать отдельные особенности поверхности частиц. Метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) в этом отношении обладает рядом неоспоримых преимуществ, являя, кроме того, в качестве основного принципа реально трехмерное сканирование поверхности. Что очень важно, образцы для исследования в АСМ не нуждаются в специальном напылении, что делает более достоверным разрешение элементарных особенностей рельефа. Поэтому морфологические закономерности роста кристаллов проводились на атомно-силовом микроскопе Ntegra Prima (NT-MDT) в режиме прерывистого контакта острия с поверхностью. Анализ литературных данных показывает, что такое исследование для порошков натисита проведено впервые. Характерные размеры особенностей рельефа определены с помощью стандартной программы обработки изображений, точность — первые единицы нанометров в латеральной плоскости и десятые доли нанометра по нормали к поверхности.

Обсуждение результатов

Согласно данным РФА, в процессе двенадцатичасового гидротермального синтеза получается кристаллическая фаза, характеризующаяся пиками натисита и паранатисита (рис. 1).

Паранатисит $\text{Na}_8\text{Ti}_{3.5}\text{O}_2(\text{OH})_2[\text{SiO}_4]_4$, по данным [9, 10], может являться результатом трансформации или предшественником натисита. Поэтому для получения чистой фазы натисита были проведены дополнительные эксперименты с одинаковой щелочностью, с уменьшенным до 6 и увеличенным до 24 часов временем синтеза.

В проведенных экспериментах при прочих равных условиях показано, что с увеличением времени синтеза от 6 до 9, 12 и далее до 24 часов, по данным РФА, образовывались частицы паранатисита и далее натисита с различной морфологией. Образцы «6 часов», по данным электронной микроскопии, не имели четкой формы (рис. 2, а); образцы «9 часов» содержали чуть больше фрагментов со строгими формами; образцы «12 часов» представляли собой кристаллы-двойники и четверники нечеткого габитуса; образцы «24 часа» являлись хорошо сформированными кристаллическими двойниками прорастания типа «крест» (рис. 6, а), подобных которым в литературе для натисита мы не встречали.

«6 часов». При сканировании с помощью АСМ образца, который меньше всего подвергался температурному воздействию, участков с законченными кристаллографически верными очертаниями не обнаружилось. Иногда встречались лишь фрагменты плоских слоев — реликтовых граней пинакоида (рис. 2, б). На этих же гранях обнаружены ступени роста, высота самых тонких из них составляла 6 нм, а самых крупных — до 125 нм. Для данного вещества с параметрами элементарной ячейки $a = 6.5 \text{ \AA}$, $c = 5.07 \text{ \AA}$ они являются макроступенями. Тенденция к

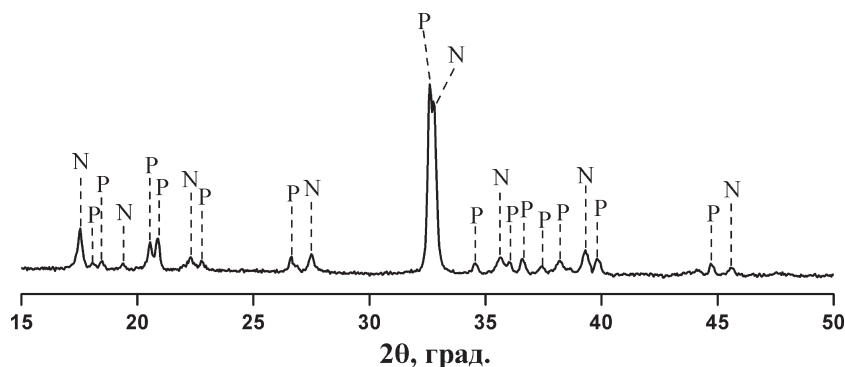


Рис. 1. Дифрактограмма образца: P — паранатисит, N — натисит (время синтеза 12 ч)

Fig. 1. X-ray diffraction pattern of obtained sample: P — paranatisite, N — natisite (reaction time 12 h)

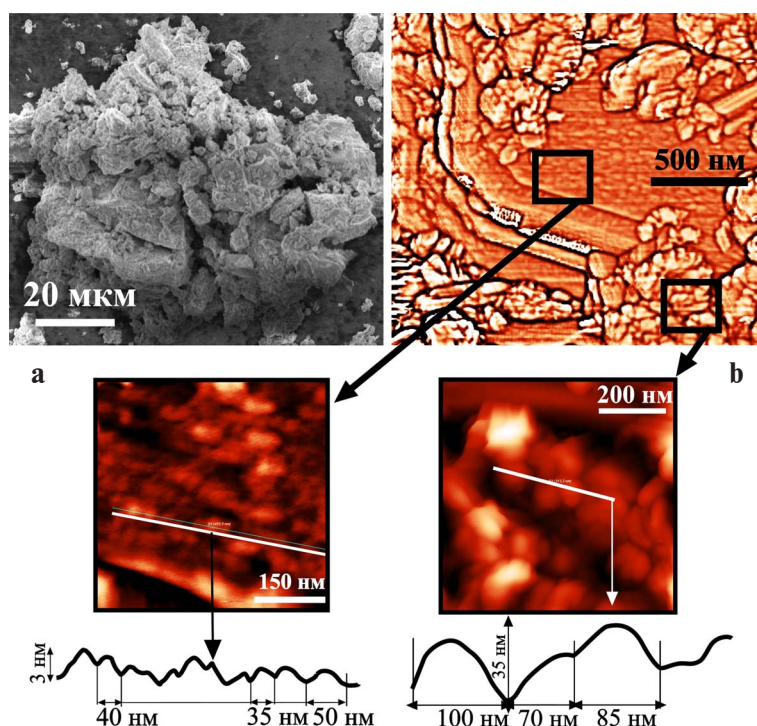


Рис. 2. СЭМ-изображение частиц порошка, синтезированного при 6-часовой выдержке (а), АСМ-изображение поверхности реликтовой грани пинакоида одной из частиц (б). Ниже — нанорельеф ровных и неровных участков грани

Fig. 2. SEM image of particles, reaction time 6 h (a), AFM image of surface of pinacoid relic face (b). In the bottom the nanorelief of flat and rough face sections is given

макроступенчатому росту свидетельствует о быстрой кристаллизации в условиях высокого пересыщения.

Плоские участки граней имели наноразмерную шероховатость, характерный размер которой 35—50 нм (рис. 2, б). Можно предположить, что рост пинакоида практически остановился в какой-то момент из-за отсутствия дислокаций. Однако существенное пересыщение в среде привело к тому, что вещество откладывалось на грань посредством нормального механизма, образуя двух- и трехмерные зародыши. Значительная часть образцов состояла из глобулоподобных агрегатов, отдельные элементы которых имеют размер от 70 до 100 и выше нм. На АСМ-изображениях видно, что их осаждение произошло позже, чем образовались ступени роста. Образование кристаллов происходило в процессе выдержки заготовки при

постоянной температуре, однако, если времени было недостаточно, вещество не успевало полностью перейти из раствора в кристаллическую форму и при резком охлаждении его избыток выпадал в виде подобных агрегатов.

«9 часов». В данных образцах беспорядочных глобулоподобных скоплений не наблюдается, частицы имеют более законченную форму. Например, кристалл на рисунке 3 имеет почти изометричную форму, диаметр его около 1.5 мкм, присутствуют некоторые признаки полигональности. Его грань пинакоида покрыта бугорками с характерным размером около 50 нм.

На АСМ-снимках образцов данного порошка присутствует разнонаправленная штриховка, образованная хаотично сросшимися кристаллами, высота полос штриховки — до 20 нм, ширина террас — от 50 до 100 нм. Нечеткая

форма кристаллов заставляет предположить, что данная штриховка не индукционная, когда тесно растущие кристаллы оставляют отпечатки слоев роста друг на друге, а комбинационная, то есть связанная с попеременной сменой ориентации простых форм при изменении условий роста. Натисит принадлежит к тетрагональной сингонии, штриховка на его гранях может означать, например, смену тетрагональной призмы на тетрагональную дипирамиду. На данном образце обнаружены редкие свидетельства двойникового натисита.

«12 часов». Данный образец представлен частицами, каждая из которых является поликристаллическим агрегатом, сростком кристаллов размером от двух до семи и более микрометров (рис. 4). Для торцов граней на данном образце характерна крупная (200 нм) слоистость. На образцах есть близкорасположенные участки с разнонаправленной комбинационной штриховкой. Кристаллы срослись грубо, по всей длине образцов имеется перепад высот в несколько микрометров.

На данных образцах обнаружено множество гладких граней, которые успевали формироваться благодаря дислокациям и ступеням при достаточном времени. Высоты ступеней роста на них составляют от 2 до 70 нм. Однако некоторые грани пинакоида все же покрыты наноразмерными бугорками. Они меньше, чем в предыдущих экспериментах, и имеют гораздо более сложную морфологию, у них выделяется острая вершина.

Обнаружены твердые, возможно гетерофазные, включения на поверхности натисита, размером от нескольких десятков нанометров и выше. Таким образом, в условиях данного эксперимента происходил отгон при-

месей при кристаллизации, однако на финальном этапе произошел их захват, о чем говорят характерные следы «обтекания» их тонкими ступенями.

«24 часа». Этот образец является самым интересным с точки зрения ростовых процессов. Он сложен кристаллами, сростками и двойниками четкой кристаллографической формы, в нем почти отсутствуют агрегаты неясных очертаний. Почти все исходное вещество успело полностью перейти в кристаллическую форму, благодаря тому что данный образец самое длительное время выдерживался при температуре, характерной для гидротермальных процессов. По данным АСМ, поверхности пинакоида (001) практически гладкие, на них редко встречаются микроразмерные включения, но имеется множество свидетельств двойникового даже в наноразмерном масштабе (рис. 5).

Шероховатости в наноразмерном масштабе на плоских участках для образцов данного порошка не обнаружено.

Каждый кристалл-двойник огранен двумя тетрагональными призмами, по данным АСМ рассчитано соотношение длин ребер и углы плоских торцов, которые практически равны соседним углам, что значительно отличает их от предыдущего эксперимента. Обнаружены интересные морфологические следствия роста кристаллов в наноразмерном масштабе. Так, стрелками на рисунке 6, б показан изгиб ростовой ступени на препятствии, которым является твердое включение диаметром около 50 нм, на рисунке 6, в — точка выхода винтовой дислокации на грань пинакоида, из которого берет начало ростовая ступень высотой в несколько нанометров. Таким образом, выдержка данных порошков в течение 24 часов сделала возмож-

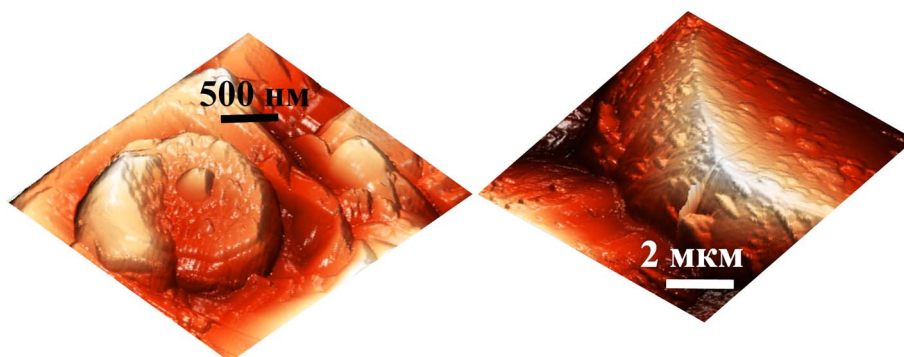


Рис. 3. АСМ-изображение образца, синтезированного при 9-часовой выдержке

Fig. 3. AFM image of samples, reaction time 9 h

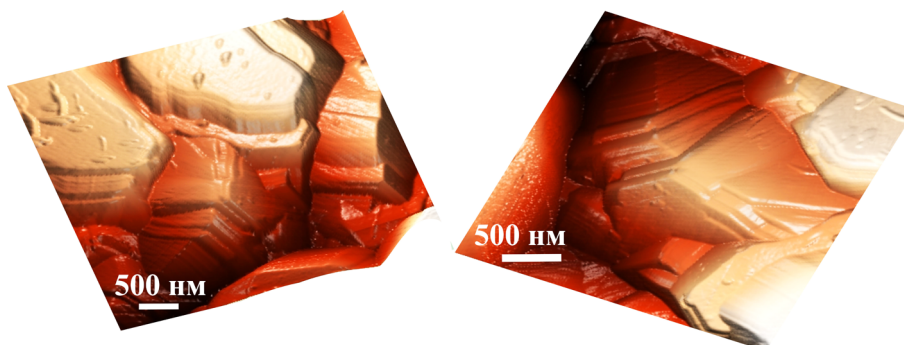


Рис. 4. АСМ-изображение образца, синтезированного при 12-часовой выдержке

Fig. 4. AFM image of samples, reaction time 12 h

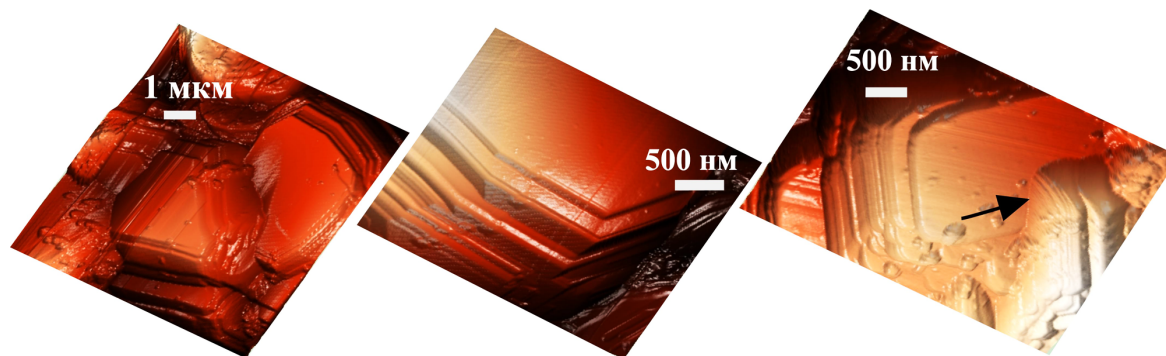


Рис. 5. АСМ-изображение образцов, синтезированных при 24-часовой выдержке. Стрелкой обозначен шов между кристаллами в двойнике

Fig. 5. AFM image of samples, reaction time 24 h. Crystal contact is marked by arrow

ным качественное дорастивание кристаллов по механизму слоистого роста, инициированному винтовыми дислокациями. Каналов проводимости в таких образцах больше, что делает керамику, состоящую из полностью кристаллических частиц, перспективной с точки зрения суперионной проводимости.

Нами проведен также синтез с более длительной выдержкой по времени — 36 часов. Однако это не привело к образованию еще более четких кристаллов, возможно, период в 24 часа является оптимальным.

Заключение

Результаты проведенного исследования показывают возможность эффективного применения гидротермального синтеза для получения титаносиликатов при использовании в качестве прекурсоров кремнисто-титановых промежуточных продуктов, образующихся при переработке лейкоксеновых руд. Это, во-первых, расширяет перечень потенциально получаемых из лейкоксеновых руд новых функциональных материалов. Во-вторых, появляется возможность утилизации значительного количества промежуточных продуктов, циркулирующих в процессе, и преобразования отходов в высокоценные материалы.

Разработанная методика позволила получить образцы порошков титаносиликатов паранатисита и натисита.

Методом РФА установлено, что увеличение времени синтеза с 6 до 24 часов приводит к формированию чистой фазы натисита через фазу паранатисита.

Кристаллическая структура натисита обуславливает высокую спайность в одном направлении и дает возможность для образования двойников типа «крест». Часто начало срастания (расщепления) приурочено к зоне скопления твердых и газовой-жидких включений, свидетельствующих о резком увеличении пересыщения. Во всех описанных выше экспериментах это происходило на начальном этапе. При выдержке 6 часов не все вещество вошло в кристаллы, его избыток выпал в виде глобулоподобных агрегатов, которые, по данным РФА, представляют фазу паранатисита. С помощью АСМ показано, что данные образцы являются шероховатыми не только в микро-, но и в наноразмерном масштабе. Возможно, эти порошки найдут свое применение в качестве сорбентов как имеющие наибольшую площадь поверхности слагающих частиц.

В эксперименте с выдержкой 24 часа практически все исходное вещество успело полностью перейти в кристаллическую форму (натисит), благодаря тому что данные образцы имели самое большое время выдержки при температуре, характерной для гидротермальных процессов. В результате получились четкие крестообразные двойники прорастания. На гранях кристаллов такого порошка мень-

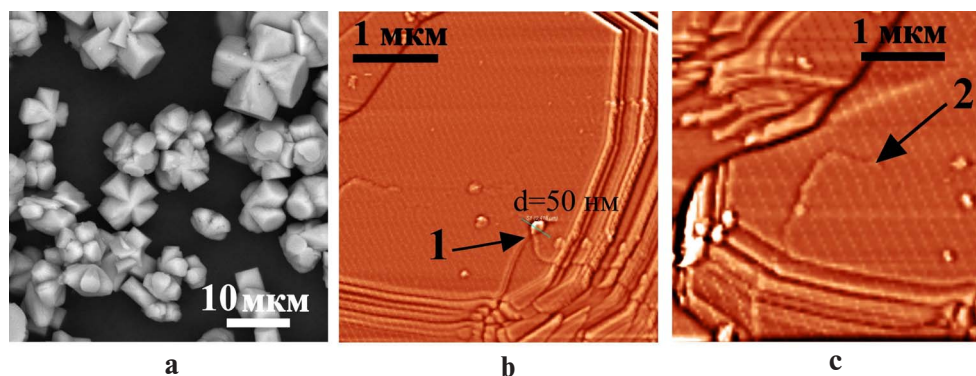


Рис. 6. СЭМ (а)- и АСМ (б, в)-изображение частиц порошка, синтезированного при 24-часовой выдержке (стрелками показаны: 1 — изгиб ростовой ступени на твердом включении; 2 — место выхода винтовой дислокации и испускаемая дислокационным источником ростовая ступень)

Fig. 6. SEM (a)- and AFM (b, c)-image of sample, reaction time 24 h (marked by arrows: a — the growth stage bending at the solid inclusion; 2 — screw dislocation and emitted growth stage)



ше всего твердых включений и шероховатости в наноразмерном масштабе. Керамика, полученная спеканием таких частиц, должна обладать наиболее высокими ионопроводящими свойствами.

Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Геонаука» (Институт геологии Коми НЦ УрО РАН) при частичной финансовой поддержке программы РАН № 15-18-5-45, Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа «Умник», договор № 6171 ГУ.2015); гранта РФФИ № 16-35-00017 мол_а.

Литература

1. Иванов-Шниц А. К., Демьянец Л. Н. Материалы иониче-ского твердого тела // Природа. 2003. № 12.
2. Игнатьев В. Д., Бурцев И. Н. Лейкоксен Тимана: минералогия и проблемы технологии. СПб.: Наука, 1997. 213 с.
3. Карелин В. А., Карелин А. И. Фторидная технология переработки концентратов редких металлов. Томск: НТЛ, 2004. 221 с.
4. Котова О. Б., Лезина О. М., Назарова Л. Ю., Рубцова С. А., Рябков Ю. И. Новые технологические решения рудо-подготовки и извлечения ценных минералов // Вестник Ин-ститута геологии Коми НЦ УрО РАН. 2012. № 10. С. 32—34.
5. Минералы: Справочник. Т. IV. Вып. 3. Силикаты. М.: Наука, 1996. С. 40—43.
6. Перовский И. А., Бурцев И. Н. Влияние механоакти-вации лейкоксена на эффективность процесса его пере-работки по фторидному методу // Перспективные мате-риалы. 2016. № 2. С. 66—73.
7. Перовский И. А., Игнатьев Г. В. Фтораммонийный способ обескремнивания лейкоксенового концентрата Ярегского месторождения // Прогнозная оценка техно-логических свойств полезных ископаемых методами при-кладной минералогии: Сборник статей по материалам док-ладов VII Российского семинара по технологической ми-нералогии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2013. С. 110—116.
8. Рябков Ю. И., Истомин П. В., Надуткин А. В., Наза-рова Л. Ю. и др. Разработка научных основ технологий ком-плексной переработки кварц-рутилового сырья для функциональных наноматериалов на основе соединений титана и кремния // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2013. Т. 13. № 1. С. 19—24.
9. Хомяков А. П., Полежаева Л. И., Соколова Е. В. Па-ранатисит (Na_2TiSK)₅ — новый минерал // ЗВМО. 1992. № 6. С. 133—137.
10. Kostov-Kytin V., Ferdov S., Petrov O. Hydrothermal synthesis and successive transformation of paranatisite into natisite // Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences. 2002. T. 55. No. 2. Bulgarian Academy of Sciences. Provided by the NASA Astrophysics Data System.

References

1. Ivanov-Shits A. K., Demyanets L. N. *Materialy ioniki tverdogo tela* (Materials of solid body ionics). Priroda, 2003, No. 12.
2. Ignatev V. D., Burtsev I. N. *Leikoksen Timana: mineralogiya i problemy tehnologii* (Leucoxene of Timan: mineralogy and problems of technology). St. Petersburg, Nauka, 1997, 213 pp.
3. Karelin V. A., Karelin A. I. *Ftoridnaya tehnologiya pererabotki kontsentratorov redkih metallov* (Fluoride technology of processing of rare metal concentrates). Tomsk, NTL, 2004, 221 pp.
4. Kotova O. B., Lezina O. M., Nazarova L. Yu., Rubtsova S. A., Ryabkov Yu. I. *Novye tehnologicheskie resheniya rudopodgotovki i izvlecheniya tsennykh mineralov* (New technological solutions of ore preparation and mineral recovery). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2012, No. 10, pp. 32—34.
5. *Mineraly: Spravochnik* (Minerals. Reference book). V. IV, No. 3, *Silikaty* (Silicates). Moscow, Nauka, 1996, pp. 40—43.
6. Perovskii I. A., Burtsev I. N. *Vliyanie mekhanoaktivatsii leukoksena na effektivnost protsessa ego pererabotki po ftoridnomu metodu* (Influence of mechanical activation of leucoxene on efficiency of its processing by fluoride method). Perspektivnye materialy, 2016, No. 2, pp. 66—73.
7. Perovskii I. A., Ignatev G. V. *Ftorammoniyniy sposob obeskremnivanija leukoksenovogo kontsentrata Yaregskogo mestorozhdeniya. Prognoznaya otsenka tehnologicheskikh svoistv poleznykh iskopaemykh metodami prikladnoi mineralologii* (Fluoro-ammonium method of silica removal from leucoxene concentrate from Yarega deposit. Prognosis evaluation of technological properties of mineral resources by applied mineralogy). Proceedings. Petrozavodsk, Karelia Science center RAS, 2013, pp. 110—116.
8. Ryabkov Yu. I., Istomin P. V., Nadutkin A. V., Nazarova L. Yu. et al. *Razrabotka nauchnykh osnov tehnologii kompleksnoi pererabotki kvarts-rutilovogo syrya dlya funktsionalnykh nanomaterialov na osnove soedinenii titana i kremniya* (Development of science basis of technology of complex processing of quartz-rutile raw for functional nanomaterials on the basis of titanium-silica compounds). Izvestiya of Komi science center UB RAS, 2013, V. 13, No. 1, pp. 19—24.
9. Homyakov A. P., Polezhaeva L. I., Sokolova E. V. *Paranatisit (Na_2TiSK)₅ — novyi mineral* (New mineral paranatisite (Na_2TiSK)₅). ZVMO, 1992, No. 6, pp. 133—137.
10. Kostov-Kytin V., Ferdov S., Petrov O. Hydrothermal synthesis and successive transformation of paranatisite into natisite. Comptes rendus de l'Academie bulgare des Sciences, 2002, V. 55, No. 2, Bulgarian Academy of Sciences, Provided by the NASA Astrophysics Data System.

DISCRIMINANT ANALYSIS OF AMINO ACID COMPOSITION OF NATURAL CARBONACEOUS SUBSTANCES

O. Ye. Amosova, Ye. A. Golubev, S. N. Shanina

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar
kramosova@geo.komisc.ru

We conducted statistical estimation of difference in amino acid composition of natural carbonaceous materials, previously divided on the basis of physical and chemical features into groups according to Uspensky classification, by discriminant analysis. The samples of natural solid bitumens from a carbonization sequence (asphaltites — kerites — anthraxolites), natural graphites, and carbon black samples were used as objects of the research. It was shown that the samples within each group had similar amino acid composition and the correctness of an initial distribution of the samples into groups was confirmed. In addition, we found individual samples, which had been incorrectly classified as a result of inaccurate physical-chemical diagnostics, and also slightly different from the samples of their group by the geological and geochemical characteristics. This indicates possibility of using discriminant analysis for the comparative grouping of natural carbonaceous substances by amino acid composition.

Keywords: discriminant analysis, discriminant variables, canonical discriminant functions, natural carbonaceous substances, amino acids.

ДИСКРИМИНАНТНЫЙ АНАЛИЗ АМИНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА ПРИРОДНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ ВЕЩЕСТВ

О. Е. Амосова, Е. А. Голубев, С. Н. Шанина

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Методом дискриминантного анализа (ДА) проведена статистическая оценка различия аминокислотного состава природных углеродистых веществ (УВ), предварительно разделенных по физико-химическим признакам на группы в соответствии с классификацией Успенского. Объектами исследований послужили образцы природных твердых битумов из ряда карбонизации (асфальтиты — кериты — антраксолиты), природные графиты, а также образцы технического углерода (сажи). ДА в целом подтвердил правильность первоначального распределения образцов по группам, указав на схожесть аминокислотного состава образцов в каждой из групп. Кроме того, с помощью ДА выявлены единичные образцы, ошибочно отнесённые не к своей группе в результате недостаточно точной физико-химической диагностики, а также незначительно отличающиеся от образцов своей группы по геолого-геохимическим признакам. Это свидетельствует о возможности применения такого анализа для сравнительного группирования природных УВ.

Ключевые слова: дискриминантный анализ, дискриминантные переменные, канонические дискриминантные функции, природные углеродистые вещества, аминокислоты.

Introduction

The method of discriminant analysis of protein amino acid composition is widely used in biological, physiological, palaeontological and geochemical studies. For example, it allows to determine the taxonomic membership of the classes of shells of mollusk, brachiopods and bones of animals [11–13, 15], to identify intergroup differences in biological fluids and pathogenic minerals [1, 2], to determine affiliation to one of the microcommunities in hydrothermal systems [14].

Amino acids, found in sedimentary rocks, are not primary components of protein. They are in the bound state and included in the polymer components of organic matter or they form stable organic mineral complexes [3]. Amino acids are one of the most important indicators of the geochemical processes occurring in sediments. They characterize the degree of polymerization of fossil organic matter that is closely connected with the processes of postsedimentary deposit transformation. Heating effects contribute to both decay of amino acids, especially with a complex structure, and their formation due to the secondary synthesis.

Recently during our studies of amino acids in geological objects we accumulated material on the amino acid composition of different carbonaceous substances from asphaltites [8] to shungites [9]. Previously we made statistical evaluation of the similarity of the samples of shungites from various deposits by their amino acid composition and identification of the impact of shungite formation temperature on their amino acid composition [10].

The relevance of the studies of organic mineraloids is conditioned by debatable questions of their origin, the main of which is the problem of biogenesis or abiogenesis of initial substance, as well as the need of evaluation of physical and chemical conditions of formation.

The complex composition and structure hamper to study of natural solid bitumen and majority of other natural organic compounds. So we continued researches of the amino acid composition of solid bitumen by statistical analysis.

This work aims at the statistical estimation of differences in the amino acid composition of natural carbonaceous substances (CS) that a priori were separated into groups by physical and chemical features according to Uspenskys classification [6].



The objects of the researches were samples of natural solid bitumens from the carbonization sequence (asphaltites (albertite) — kerites (grahamite and impsomite) — anthraxolites), natural graphites, as well as samples of carbon black.

The tasks of the work were as follows:

(1) Establishing the most informative amino acids showing the greatest (statistically significant) differences between the groups of samples;

(2) Identification of statistically significant differences between groups of samples by several most informative amino acids simultaneously;

(3) Creation one or more of canonical discriminant functions (hereinafter - discriminant functions) based on these amino acids that best describe the differences in amino acid composition between CS groups and can be used for including new samples to one group or another.

Objects and methods

We selected 30 samples of natural carbonaceous substances, previously recognized and referred to certain types of organic mineraloids and minerals, as well as two samples of carbon black. The first and second groups included vein (samples 1—3) and clastic (samples 4—12) asphaltites from Timan-Pechora province and Eastern Siberia; the third (samples 13—15) — kerites from Timan-Pechora province; the fourth (samples 16—20) — the higher anthraxolites from Novaya Zemlya and Kazakhstan; the fifth (samples 21—27) — shungites of type I from Karelia; the sixth (samples 28—30) — coal graphite from Taimyr and Karelia, and the seventh (samples 31—32) — carbon black from Sosnogorsk Gas Processing Plant.

The identification and determination of amino acids in the samples were performed with the help of gas chromatograph GC-17A (Shimadzu, capillary column Chirasil-L-Val). The technique is described in [9].

The statistical analysis was carried out by the discriminant analysis (DA) in STATISTICA 6.0 program. The discriminant analysis of CS was conducted by the relative content of amino acids used as discriminant variables. The statistical evaluation was carried out for the level of significance $p = 0.05$.

Results and their discussion

At the first stage we checked the correctness of the initial division of samples into seven groups by thirteen amino acids (alanine (Ala), valine (Val), glycine (Gly), isoleucine (Ile), leucine (Leu), aspartic acid (Asp), glutamic acid (Glu), threonine (Tre), serine (Ser), phenylalanine (Phe), tyrosine (Tyr), proline (Pro), lysine (Lys)). On the basis of classification functions*, which are linear combinations of relative compositions of amino acids, it was determined that all the samples were initially classified correctly.

To identify informative amino acids, making the most significant contribution to the distinction between samples from different groups, we carried out DA by two methods: stepwise with inclusion; stepwise with exclusion [4]. As criteria of informative amino acid selection we used Wilks lambda statistics. The highest percentage of correct classification of samples (97 %) was obtained by stepwise with exclusion. Eight most informative amino acids — Ala, Asp, Tyr, Gly, Leu, Phe, Val, Ile

was revealed by this method. The sets of samples from different groups differ statistically significantly by content of these amino acids. Six discriminant functions were calculated by these amino acids.

The number of discriminant functions, that significantly describe differences between the groups, was determined on the basis of their eigenvalues; relative percentage content of discriminant functions (i.e. percentage of explained dispersion); canonical correlation coefficient; and with the help of the test of significance of residual discriminantability of the system conducted using the Wilks lambda statistics and chi-square test (Table. 1, 2).

The value of eigenvalue and the relative percentage content are connected with discriminating abilities of the function: the larger they are, the greater is the discrimination. All discriminant functions do not necessarily provide a clear discrimination, but their positions are determined in accordance with their individual discriminant abilities. In our case, the first function with eigenvalue 10.6 provides the best discrimination, the second function (4.9) provides a maximal discrimination after the first function, etc. Similarly, if we consider relative percentage contents, it can be seen (Table 1) that the first function contains 51.87 % of the total discriminant abilities, the second — 23.99%, etc. For each subsequent function, this percentage decreases. The last functions are as weak, compared to the first ones, that they do not necessarily introduced a significant contribute to the definition of the differences between the groups.

The published results of DA showed that the feasibility of using discriminant functions for distinguishing objects can be best evaluated by the value of canonical correlation coefficient [4], which is a measure of the bond (the degree of dependence) between the groups and the discriminant function. If this coefficient is small, the discriminant function can be omitted for interpretation.

The coefficient of canonical correlation (Table 1) of the first four discriminant functions has values close to one; it is particularly high for the first two functions, which indicates to a strong dependence between the groups and the first two discriminant functions. The fifth and sixth functions possess relatively weaker relation with the groups. Based on the values of the canonical correlation coefficient, we can say that the groups are clearly different by the studied variables (i.e. relative contents Ala, Val, Gly, Ile, Leu, Asp, Phe, Tyr), otherwise all correlations could have small values. Evaluating relative percentage content and canonical correlations it is possible to determine how many and what discriminant functions are significant in determining differences between the groups.

Another criterion, to determine the number of discriminant functions, needed to determine differences between the groups, is to test the statistical significance of the residual discriminant ability of the system (discriminant functions) before calculating next discriminant function. Eight used discriminant variables are very effectively involved in distinguishing between the groups (Table 2). Wilks lambda close to zero (for $k = 0$) at significance level $p < 0.05$ indicates that there are significant differences between the groups yet before calculating of any of the discriminant functions. Therefore, it can be noted that the results have

Footnote:

* classification function — a linear combination of discriminant variables that maximizes differences between groups, but minimizes dispersion within the groups. For each group its classifying function is determined. Object is classified in the group in which it had the highest value of classification function.

Table 1

The values and significance measures of discriminant functions (DF)

Таблица 1

Собственные значения и меры значимости дискриминантных функций (ДФ)

DF / ДФ	Eigenvalue Собственное значение	Relative percentage Относительное процентное содержание	Canonical correlation Каноническая корреляция
1	10.577	51.87	0.956
2	4.892	23.99	0.911
3	2.295	11.25	0.835
4	1.667	8.17	0.791
5	0.620	3.04	0.619
6	0.341	1.67	0.504

Table 2

Values of Wilks lambda statistics and chi-square test with subsequent excluded discriminant functions

Таблица 2

Значения статистики лямбда Уилкса и критерия Хи-квадрат с последующими исключёнными дискриминантными функциями

k	Wilks' lambda Лямбда Уилкса	Chi-square Хи-квадрат	Degrees of freedom Степени свободы	p-level p-уровень
0	0.0008	168.541	48	0.000
1	0.009	110.990	35	0.000
2	0.052	69.310	24	0.000003
3	0.173	41.289	15	0.0003
4	0.460	18.237	8	0.020
5	0.746	6.901	3	0.075

Note. k — number of subsequently excluded discriminant functions beginning with one.

Примечание. k — количество последовательно исключённых дискриминантных функций, начиная с первой.

been obtained for the samples from the general set with differences between the groups. After excluding five discriminant functions (Table 2) the level of residual discriminant capacity is low (the value of Wilks lambda is close to one, the significance level $p = 0.075$). Consequently, the first five discriminant functions are statistically significant (as a whole as the system of functions). The remaining sixth discriminant function is statistically insignificant, so this function can be omitted.

Using the discriminant functions as a system, we can reduce the information, necessary for the discrimination of the groups, to the smallest number of dimensions, at which the significance of the discrimination is sufficient and the discrimination is correct. In the course of our analysis the dimension of the information space, needed to separate the samples into

groups, decreased from original thirteen discriminant variables to eight most informative variables and further to five discriminant functions.

Now let us determine the relative contribution of individual discriminant variable in the value of each discriminant function. To do this the coefficients should be presented in a standard format (Table 3). The standardized coefficients are used to identify the variables that contribute to the value of the discriminant function. The larger the absolute value of the standardized coefficient of the variable, the greater the contribution of this variable to the value of the discriminant function.

The maximum contribution to the first discriminant function is made by the variables Ala and Gly, the following in significance contribution is introduced by Asp. All other variables are

Table 3

Standardized coefficients of discriminant functions

Таблица 3

Стандартизованные коэффициенты дискриминантных функций

Variable Переменная	DF standardized coefficients / Стандартизованные коэффициенты ДФ					
	DF1 / ДФ1	DF2 / ДФ2	DF3 / ДФ3	DF4 / ДФ4	DF5 / ДФ5	DF6 / ДФ6
Ala	-0.876	0.437	0.091	0.181	-0.221	-0.342
Val	-0.206	0.863	-0.452	0.283	0.329	-0.510
Gly	-0.895	0.344	-0.115	-0.464	-0.080	0.134
Ile	-0.081	1.084	-0.058	0.233	0.157	-0.286
Leu	-0.335	-0.533	-0.680	-0.190	-0.394	-0.520
Asp	-0.567	0.915	-0.544	-0.752	-0.427	0.055
Phe	0.120	0.497	0.749	0.309	-0.813	0.245
Tyr	0.00062	0.118	0.350	-0.735	0.206	-0.627



much less significant. For the second discriminant function three of the eight variables (Ile, Asp, Val) have relatively large standardized coefficients, so they introduce about the same contribution to its value. All other variables are compared to them are secondary. Phe, and Leu are dominant variables for the third discriminant function. But Ala and Ile, which contribute substantially to the first and second discriminant function, on the contrary, do not provide a meaningful contribution to the third discriminant function. Fourth discriminant function is marked by a great contribution of Asp, Tyr, and the fifth — Phe, all other variables are secondary importance.

To determine the closeness of the connection between the individual discriminant variables and discriminant functions, we will consider their correlation (its coefficients are termed complete structural coefficients). At a large absolute value of the coefficient all the information about the discriminant function is contained in the variable.

The first discriminant function (Table 4) is most closely associated with Ala and Gly, the second — with Val, Leu, Asp, the third — with Leu, Asp, Phe, Tyr, the fourth — with Asp, Tyr, the fifth — with Phe, Leu, Ile. Note that the discriminant functions 2, 3 and 4 do not have dominant (large) coefficients. At that the variables that contribute most to the values of the corresponding discriminant functions (Table 3) are generally most closely associated with these functions (Table 4).

Table 5 shows average values of the discriminant functions for each group of samples. Pairwise differences of these values for each function allow determining groups that are the best differentiated by this discriminant function. Figurative points on Figure 1 show geometrical arrangement of the samples rela-

tively to each other at coordinate planes of some pairs of discriminant functions.

Table 5 shows that the discriminant function 1 discriminates mainly kerites and soot (Groups 3 and 7), as its average values for these groups are significantly different from each other and from the average values of other groups. Figure 1a shows that the samples of the seventh group are well differentiated from the samples of other six groups by the first discriminant function. The samples of the third group are different from the samples of other groups, although not as much as the seventh group of samples. The samples of other five groups do not differ so clearly by the first discriminant function. By discriminant function 2 samples of asphaltites (group 2) are significantly different from the samples of other groups, most strongly - from the samples of higher anthraxolites (group 4). The discriminant function 3 most strongly distinguishes kerites from higher anthraxolites (groups 3 and 4). Unlike the discriminant functions 1 and 2, it discriminates asphaltites from shungites (groups 1 and 5) (Fig. 1, b). It can be also used as auxiliary to the discriminant function 1 for separating kerites from shungites (groups 3 and 5). The discriminant function 4 well discriminates coal graphites (group 6) from other groups, especially from asphaltites (group 1), a bit worse from higher anthraxolites (group 4), well from shungites (group 5) (Fig. 1, c). It can be also used as auxiliary to the discriminant function 1 for discrimination of kerites from coal graphite (groups 3 and 6). The discriminant function 5 well discriminates asphaltites from kerites (groups 1 and 3) and can be used as auxiliary to discriminant function 1 for this discrimination. It also discriminates shungites from coal graphites (groups 5 and 6). Therefore, it can be used as auxiliary to discriminant function 4 for distinction of these groups.

Complete structural coefficients

Table 4

Полные структурные коэффициенты

Таблица 4

Variable Переменная	Complete correlations between discriminant variables and discriminant functions Полные корреляции между дискриминантными переменными и дискриминантными функциями					
	DF1 / ДФ1	DF2 / ДФ2	DF3 / ДФ3	DF4 / ДФ4	DF5 / ДФ5	DF6 / ДФ6
Ala	-0.944	-0.006	0.191	0.135	0.017	-0.112
Val	0.442	0.533	-0.175	0.265	-0.111	-0.290
Gly	-0.883	-0.206	0.190	0.013	0.161	0.190
Ile	0.176	0.316	-0.208	0.369	0.408	-0.075
Leu	0.142	-0.559	-0.466	0.185	-0.445	-0.419
Asp	0.375	0.548	-0.418	-0.505	-0.249	0.165
Phe	0.534	0.216	0.411	0.158	-0.636	-0.114
Tyr	0.337	0.030	0.575	-0.576	0.060	-0.466

Average values of discriminant functions for groups

Table 5

Средние значения дискриминантных функций по группам

Таблица 5

Group No. Номер группы	Average values of discriminant functions / Средние значения дискриминантных функций					
	DF1 / ДФ1	DF2 / ДФ2	DF3 / ДФ3	DF4 / ДФ4	DF5 / ДФ5	DF6 / ДФ6
1	0.725	0.098	1.746	-1.634	1.228	-0.854
2	0.404	2.586	-0.792	-0.108	-0.395	-0.167
3	3.169	0.117	2.971	-0.172	-0.704	0.813
4	0.117	-3.075	-1.223	-1.389	-0.541	0.035
5	0.361	-0.318	-0.762	0.769	0.921	0.516
6	0.968	-2.164	0.593	2.559	-0.440	-0.849
7	-10.665	0.086	1.324	0.139	-0.221	0.193

Together five statistically significant discriminant functions well discriminate the seven groups of samples. Using these five discriminant functions allows unambiguously classifying new (previously ungrouped) samples.

In general, the informativeness of discriminant variables and efficiency of discriminant functions to interpret differences between groups are assessed by the percentage of correctly recognized (classified) samples. The classification* can be used with respect to the unknown objects to predict their affiliation to certain groups, and to verify the accuracy of the classification procedures in relation to the known objects [4]. The proportion of correctly classified objects testifies to the accuracy of classification* procedure.

The classification of the samples can be carried out by: classification functions, Mahalanobis distances squares, a posteriori probabilities of affiliation of samples to a group, which are calculated with the help of Mahalanobis distances squares.

The classification procedure uses discriminant variables themselves and/or discriminant functions. The classification procedure resulted in that only one sample (from the first group) was allocated to the other group (Table 6): a posteriori probability 0.49 for shungites (the fifth group), whereas for vein asphaltites (the first group) it is equal to 0.15. Although all other samples were classified by the program in accordance with the original partition into groups, low or not very high values of a posteriori probability of some samples raise doubt in the correctness of the original classification, or point to individual physical-chemical or geological features of these samples. Thus, for sample 12 (clastic asphaltite, Eastern Siberia), a posteriori probability of affiliation to the given group 2 (clastic asphaltites) is 0.55, and to group 5 (shungites) — 0.42. A posteriori probabilities of affiliation to the given group of samples 16 (higher anthraxolite, Novaya Zemlya) from group 4 and sample 23 (shungite I, Nigozero) from group 5 are not high (0.65) compared to those for other samples from these groups.

Then we carried out classification with the help of five statistically significant discriminant functions. The obtained results were more accurate, because the impact of fluctuations was reduced [4]. It was established that all samples were correctly classified (Table 7). The results of the classification and the values of a posteriori probabilities of affiliation to a group, obtained by the discriminant functions and initial discriminant variables, were almost identical: the same samples (1, 12, 16, 23) had low or not very high values of a posteriori probabilities of affiliation to a predetermined group. Although the first sample was referred to the first group, but the probability of affiliation was low — 0.35.

Explanation of such results lies in the geological and geochemical characteristics of these samples. Sample 12 (Eastern Siberia), previously recognized as clastic asphaltite, was selected from a piece of bitumen with a heterogeneous phase content, which was a mixture of asphaltites and lower kerite and possibly higher kerite. This heterogeneity results in ambiguity of physical and chemical diagnostics of the sample and, accordingly, its affiliation to this or the other group of solid bitumen. Sample 16 (anthraxolite from Pavlovskoe deposit, Novaya Zemlya) is different from other anthraxolites samples (group 4) by the lowest degree of metamorphism [5]. If other anthraxo-

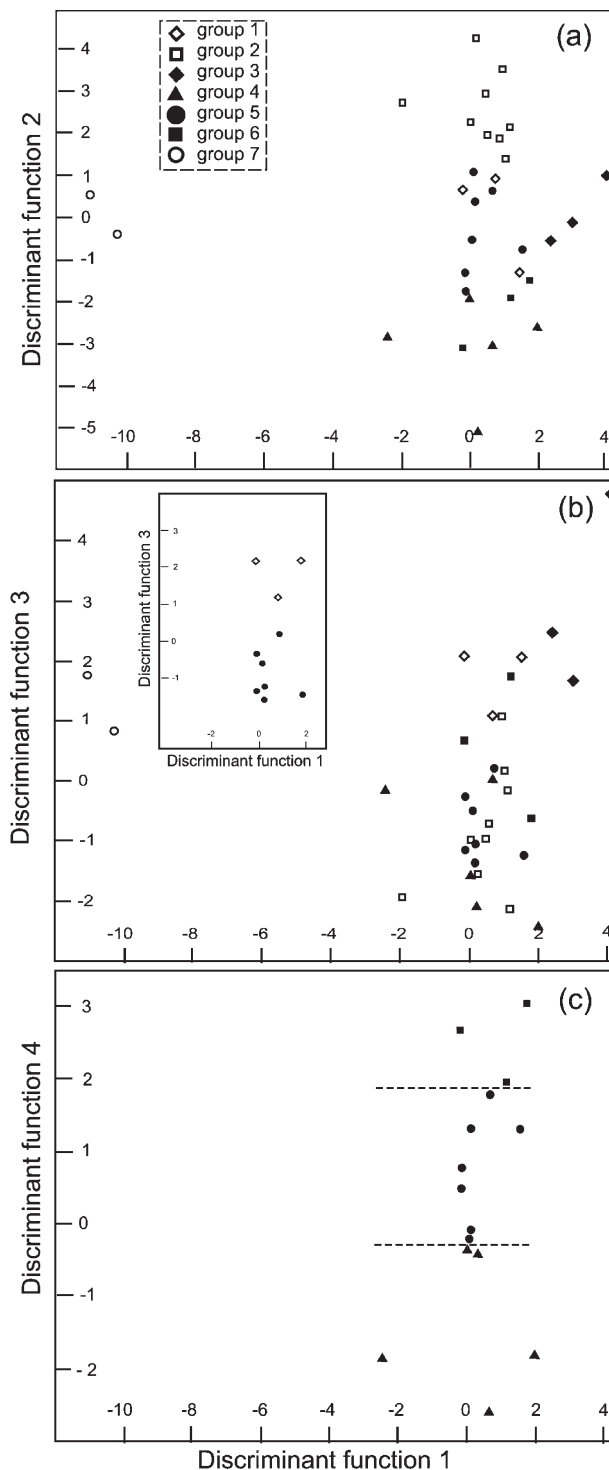


Fig. 1. Location of samples in the planes defined by the discriminant function 1 and 2 (a), 1 and 3 (b), 1 and 4 (c). Inset (b) shows the location of the samples of groups 1 and 5. Figure (c) shows the arrangement of samples only for groups 4, 5 and 6. The dashed line separates groups for discriminant function 4

Рис. 1. Расположение образцов на плоскостях, задаваемых дискриминантными функциями 1 и 2 (а), 1 и 3 (б), 1 и 4 (с). На врезке (б) показано расположение образцов групп 1 и 5. На рис. (с) приведено расположение образцов только для групп 4, 5 и 6. Пунктирные линии разделяют группы по дискриминантной функции 4

Footnote:

*Classification — a process that helps the researcher to make a decision: the specified object «belongs to» or «very much like on» the group (class). The decision is made on the basis of information contained in the discriminant variables.



Table 6

Classification of samples by means of a posteriori probability

Таблица 6

Классификация образцов с помощью апостериорных вероятностей

Sample No. Номер образца	A posteriori probabilities / Апостериорные вероятности							
	Group Группа	1 $p^* = 0.094$	2 $p = 0.281$	3 $p = 0.094$	4 $p = 0.156$	5 $p = 0.219$	6 $p = 0.094$	7 $p = 0.063$
1**	1	0.145902	0.342200	0.026250	0.000044	0.485377	0.000227	0.000000
2	1	0.999940	0.000016	0.000000	0.000000	0.000044	0.000000	0.000000
3	1	0.998936	0.000001	0.000701	0.000321	0.000040	0.000001	0.000000
4	2	0.000008	0.995053	0.000000	0.000000	0.004939	0.000000	0.000000
5	2	0.000008	0.997457	0.000000	0.000000	0.002534	0.000001	0.000000
6	2	0.003769	0.880480	0.000205	0.000008	0.115497	0.000040	0.000000
7	2	0.000000	0.999999	0.000000	0.000000	0.000001	0.000000	0.000000
8	2	0.000000	0.999945	0.000006	0.000000	0.000049	0.000000	0.000000
9	2	0.000541	0.999393	0.000000	0.000000	0.000066	0.000000	0.000000
10	2	0.000066	0.956917	0.000008	0.000001	0.043008	0.000000	0.000000
11	2	0.000015	0.972746	0.000000	0.000000	0.027239	0.000000	0.000000
12	2	0.025804	0.552375	0.002468	0.000000	0.419180	0.000172	0.000000
13	3	0.003209	0.000257	0.993735	0.000004	0.002218	0.000577	0.000000
14	3	0.000007	0.000000	0.999993	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
15	3	0.001303	0.000005	0.997811	0.000001	0.000861	0.000020	0.000000
16	4	0.000036	0.000107	0.000000	0.652913	0.346483	0.000461	0.000000
17	4	0.000005	0.000001	0.000000	0.994323	0.005670	0.000001	0.000000
18	4	0.001424	0.000000	0.000001	0.998015	0.000558	0.000002	0.000000
19	4	0.000000	0.000000	0.000000	0.999775	0.000002	0.000223	0.000000
20	4	0.000008	0.000000	0.000000	0.999882	0.000108	0.000002	0.000000
21	5	0.000052	0.000801	0.000002	0.000366	0.992301	0.006479	0.000000
22	5	0.000760	0.003653	0.000010	0.005140	0.990370	0.000067	0.000000
23	5	0.001392	0.347572	0.000000	0.000044	0.650987	0.000005	0.000000
24	5	0.001948	0.007585	0.000007	0.000000	0.988826	0.001633	0.000000
25	5	0.000103	0.066369	0.000000	0.000073	0.931659	0.001796	0.000000
26	5	0.000103	0.000653	0.000000	0.040185	0.955941	0.003117	0.000000
27	5	0.000209	0.000045	0.000001	0.012673	0.980705	0.006367	0.000000
28	6	0.000000	0.000007	0.000001	0.000014	0.037823	0.962154	0.000000
29	6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000262	0.000696	0.999042	0.000000
30	6	0.000329	0.000000	0.000141	0.000017	0.003156	0.996356	0.000000
31	7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
32	7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000

Notes. *p — a posteriori probabilities of affiliation of samples to groups, proportional to size of groups, ** — incorrect classifications

Примечания. *р — априорные вероятности принадлежности образцов к группам, пропорциональные размерам групп, ** — неправильные классификации.

lites from this group belong to the class of higher anthraxolites, then this sample is closer to the average anthraxolites. Sample 23 (shungite I from Nigozero), in contrast to the primary migration shungites (samples 21, 22, 24—27), refers to redeposited shungites, which organic matter was buried as clots in coastal shallow water zone, and then during tectonic processes transferred as part of tuffaceous detrital materials [7]. This resulted in significantly greater contamination by mineral impurities of this shungite compared to others.

Conclusion

1. The dimension of the information space, needed to discriminate samples into groups, by the multivariate statistical analysis, decreased from original thirteen discriminant variables (amino acids) to eight (the most informative discriminant variables) and then to five discriminant functions, the number

of which was established with the help of such characteristics as canonical correlation coefficient, test of significance of residual discriminant capacity of system.

2. Using standardized coefficients and complete structural coefficients we determined the most significant discriminant variables (no more than three amino acids) for each discriminant function. Herewith the set of discriminant variables is individual for each discriminant function. Each of them allows significantly discriminating two or more groups of natural carbonaceous substances.

3. The results of the classification and values of a posteriori probabilities of group membership, obtained by canonical discriminant functions and initial discriminant variables, are similar. Further statistically significant discriminant functions can be used for a more accurate (compared to discriminant variables) grouping of new (previously ungrouped)

Table 7

Classification of samples by a posteriori probability in the space of two statistically significant discriminant functions

Таблица 7

Классификация образцов по апостериорным вероятностям в пространстве пяти статистически значимых дискриминантных функций

Sample No. Номер образца	A posteriori probabilities / Апостериорные вероятности							
	Group Группа	1 p = 0.094	2 p = 0.281	3 p = 0.094	4 p = 0.156	5 p = 0.219	6 p = 0.094	7 p = 0.063
1	1	0.348381	0.330691	0.015794	0.000035	0.304561	0.000537	0.000000
2	1	0.999455	0.000044	0.000006	0.000000	0.000495	0.000000	0.000000
3	1	0.991720	0.000002	0.007266	0.000789	0.000223	0.000001	0.000000
4	2	0.000007	0.991756	0.000000	0.000000	0.008236	0.000000	0.000000
5	2	0.000007	0.995271	0.000000	0.000000	0.004722	0.000000	0.000000
6	2	0.005058	0.862462	0.000290	0.000008	0.132128	0.000054	0.000000
7	2	0.000000	0.999998	0.000000	0.000000	0.000002	0.000000	0.000000
8	2	0.000000	0.999930	0.000009	0.000000	0.000060	0.000000	0.000000
9	2	0.000529	0.999362	0.000000	0.000000	0.000108	0.000000	0.000000
10	2	0.000269	0.981763	0.000003	0.000001	0.017964	0.000001	0.000000
11	2	0.000013	0.951049	0.000000	0.000000	0.048939	0.000000	0.000000
12	2	0.046447	0.563077	0.002530	0.000000	0.387638	0.000308	0.000000
13	3	0.006054	0.000267	0.990572	0.000004	0.002021	0.001083	0.000000
14	3	0.000006	0.000000	0.999994	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
15	3	0.052178	0.000029	0.945718	0.000005	0.001296	0.000775	0.000000
16	4	0.000140	0.000148	0.000000	0.726777	0.271146	0.001790	0.000000
17	4	0.000016	0.000001	0.000000	0.995736	0.004243	0.000004	0.000000
18	4	0.003027	0.000000	0.000001	0.996453	0.000515	0.000004	0.000000
19	4	0.000000	0.000000	0.000000	0.999955	0.000007	0.000038	0.000000
20	4	0.000014	0.000000	0.000000	0.999874	0.000108	0.000003	0.000000
21	5	0.000090	0.000831	0.000002	0.000357	0.987555	0.011165	0.000000
22	5	0.012203	0.011381	0.000007	0.010817	0.964535	0.001058	0.000000
23	5	0.001755	0.315878	0.000000	0.000040	0.682321	0.000006	0.000000
24	5	0.002125	0.006266	0.000009	0.000000	0.989825	0.001774	0.000000
25	5	0.000109	0.054388	0.000000	0.000060	0.943544	0.001898	0.000000
26	5	0.000285	0.000853	0.000000	0.046006	0.944303	0.008552	0.000000
27	5	0.001306	0.000086	0.000001	0.018939	0.940391	0.039277	0.000000
28	6	0.000000	0.000008	0.000003	0.000019	0.080956	0.919014	0.000000
29	6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000218	0.000731	0.999050	0.000000
30	6	0.000321	0.000001	0.001873	0.000049	0.021526	0.976231	0.000000
31	7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000
32	7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	1.000000

samples, because their use reduces influence of random fluctuations.

4. The multivariate statistical analysis of amino acid composition of natural hydrocarbons can find samples, wrongly related to other group as a result of unreliable physical and chemical diagnostics, and also determines samples different from the samples of their group by geological and geochemical characteristics. This indicates the possibility of applying such an analysis for comparative grouping of natural hydrocarbons.

The researches were carried out with the partial support of the Program of Fundamental Researches, UB RAS No. 15-18-5-5, the amino acid composition was determined by analytical equipment of CCU Geoscience Institute of geology KomiSC UB RAS.

References

1. Belskaya L. V., Golovanova O. A. *Matematicheskaya obrabotka rezultatov analiza slyuny cheloveka v usloviyah kam-neobrazovaniya v polosti rta* (Mathematical processing of results

of analysis of human saliva in conditions of lithiasis in oral cavity). *Matematicheskie issledovaniya v estestvennykh naukakh*. Apatity, Geological institute of Kola SC RAS, 24—27 October 2010. Ed. Yu. L. Voitekhovskiy. Apatity, 2010, pp. 158—170.

2. Belskaya L. V., Shukailo E. S., Golovanova O. A. *Primenenie matematicheskikh metodov pri analize rotovoi zhidkosti sportsmenov* (Mathematical methods for analysis of oral fluids of sportsmen). *Matematicheskie issledovaniya v estestvennykh naukakh*. Apatity, Geological institute of Kola SC RAS, 3—6 October 2011. Ed. Yu. L. Voitekhovskiy. Apatity, 2011, pp. 75—78.

3. Drozdova T. V. *Geokhimiya aminokislot* (Geochemistry of amino acids). Moscow, Nauka, 1977, 199 pp.

4. Klecka W. R. *Diskriminantnyi analiz* (Discriminant analysis). In: *Faktornyi, diskriminantnyi i klasternyi analiz* (Factorial, discriminant and cluster analysis). Moscow, Finansy i statistika, 1989.

5. Silaev V. I., Ilchenko V. O., Lyutoev V. P., Filippov V. N., Golubev E. A., Kovaleva O. V. *Autigennaya psevdomineralizatsiya v antraksolite* (Authigenous pseudomineralization in anthrax-



olite). *Problemy geologii i mineralogii*. Syktyvkar: Geoprint. 2006. pp. 283—314.

6. Uspenskii V. A., Radchenko O. A., Glebovskaya E. A. *Osnovy geneticheskoi klassifikatsii bitumov* (Principles of genetic classification of bitumen). Leningrad, Nedra, 1964, 267 pp.

7. Filippov M. M. *Shungitonosnye porody Onezhskoi struktury* (Shungites from Onezhskaya structure). Petrozavodsk, 2002, 280 pp.

8. Shanina S. N., Bushnev D. A. *Izotopnyi sostav ugleroda aminokislot tverdykh bitumov* (Isotope composition of carbon of amino acids of solid bitumen). 2014, V. 456, No. 5, pp. 586—590.

9. Shanina S. N., Golubev E. A. *Aminokisloty v shungitakh Karelii* (Amino acids in Karelia shungites). Geohimiya, 2010, V. 48, No. 9, pp. 972—987.

10. Shanina S. N., Golubev E. A., Amosova O. E. *Aminokisloty v shungitovom veshchestve dokembriiskikh porod Karelii* (Amino acids in shungite substance of Precambrian rocks of Karelia). In: *Mineralnyi mir: struktura, raznoobrazie, konstitutsiya mineralov, kristallogenezis i mineraloobrazovanie, biomineralnye vzaimodeistviya, evolyutsiya mineraloobrazuyuschi protsessov* (Mineral world: structure, biomineral interactions, evolution of mineral forming processes). Syktyvkar, Institute of geology Komi SC UB RAS, 2012, pp. 256—270.

11. Arany S., Ohtani S., Yamamoto T., Sugiyama T. Comparison of aspartic acid racemization between mammoth and human dentinal tissues. *Archives of Oral Biology*, 2007. V. 52, pp. 20—25.

12. Endo K., Walton D., Reymont R. A., Curry G. B. Fossil intra-crystalline biomolecules of brachiopod shells: diagenesis and preserved geo-biological information. *Organic Geochemistry*, 1995, V. 23, No. 7, pp. 661—673.

13. Sauheitl L. Direct Amino Acid Uptake by Plants related to Grassland Diversity — methodological and ecological Investigations Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades in den Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) an der Fakultät für Biologie / Chemie / Geowissenschaften der Universität Bayreuth Bayreuth, Oktober 2009.

14. Svensson E., Skoog A., Ameng J. P. Concentration and distribution of dissolved amino acids in a shallow hydrothermal system, Vulcano Island (Italy). *Organic Geochemistry*, 2004, V. 35, pp. 1001—1014.

15. Walton D., Cusak M., Curry G. B. Implication of the amino acid composition of recent New Zealand brachiopods. *Palaeontology*, 1993, V. 36, No. 4, pp. 883—896.

Литература

1. Бельская Л. В., Голованова О. А. Математическая обработка результатов анализа слюны человека в условиях камнеобразования в полости рта // Математические исследования в естественных науках: Труды VI Всеросс. (с междунар. участием) научной школы, посвящ. памяти д. ф.-м. н. Р. В. Галиулина. Апатиты, Геологический институт Кольского НЦ РАН. 24—27 октября 2010 г. / Ред. Ю. Л. Войтеховский. Апатиты: Изд-во К & М, 2010. С. 158—170.

2. Бельская Л. В., Шукайло Е. С., Голованова О. А. Применение математических методов при анализе ротовой жидкости спортсменов // Математические исследования в естественных науках: Труды VII Всеросс. (с междунар. участием) научной школы, посвящ. 300-летию со дня рождения М. В. Ломоносова. Апатиты, Геологический институт Кольского НЦ РАН, 3—6 октября 2011 г. / Ред. Ю. Л. Войтеховский. Апатиты: Изд-во К & М, 2011. С. 75—78.

3. Дроздова Т. В. Геохимия аминокислот. М.: Наука, 1977. 199 с.

4. Клекка У. Р. Дискриминантный анализ // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. М.: Финансы и статистика, 1989.

5. Силаев В. И., Ильченко В. О., Лютое В. П., Филиппов В. Н., Голубев Е. А., Ковалева О. В. Аутигенная псевдоминерализация в антраксолите // Проблемы геологии и минералогии. Сыктывкар: Геопринт. 2006. С. 283—314.

6. Успенский В. А., Радченко О. А., Глебовская Е. А. Основы генетической классификации битумов. Л.: Недра, 1964. 267 с. (Тр. ВНИГРИ. Вып. 230).

7. Филиппов М. М. Шунгитоносные породы Онежской структуры. Петрозаводск: Изд-во Карельского НЦ РАН, 2002. 280 с.

8. Шанина С. Н., Бушнев Д. А. Изотопный состав углерода аминокислот твердых битумов // ДАН. 2014. Т. 456, № 5, с. 586—590.

9. Шанина С. Н., Голубев Е. А. Аминокислоты в шунгитах Карелии // Геохимия. 2010. Т. 48. № 9. С. 972—987.

10. Шанина С. Н., Голубев Е. А., Амосова О. Е. Аминокислоты в шунгитовом веществе докембрийских пород Карелии // Минеральный мир: структура, разнообразие, конституция минералов, кристаллогенезис и минералообразование, биоминеральные взаимодействия, эволюция минералообразующих процессов. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2012. С. 256—270.

11. Arany S., Ohtani S., Yamamoto T., Sugiyama T. Comparison of aspartic acid racemization between mammoth and human dentinal tissues // *Archives of Oral Biology*, 2007. V. 52, pp. 20—25.

12. Endo K., Walton D., Reymont R. A., Curry G. B. Fossil intra-crystalline biomolecules of brachiopod shells: diagenesis and preserved geo-biological information // *Organic Geochemistry*, 1995. V. 23, № 7. Pp. 661—673.

13. Sauheitl L. Direct Amino Acid Uptake by Plants related to Grassland Diversity — methodological and ecological Investigations Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades in den Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) an der Fakultät für Biologie / Chemie / Geowissenschaften der Universität Bayreuth Bayreuth, Oktober 2009.

14. Svensson E., Skoog A., Ameng J. P. Concentration and distribution of dissolved amino acids in a shallow hydrothermal system, Vulcano Island (Italy) // *Organic Geochemistry*, 2004. V. 35. Pp. 1001—1014.

15. Walton D., Cusak M., Curry G. B. Implication of the amino acid composition of recent New Zealand brachiopods // *Palaeontology*, 1993. V. 36, № 4. Pp. 883—896.

Хроника, события, факты • Chronicle, events, facts**XVIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПО ОБОГАЩЕНИЮ УГЛЯ • XVIII INTERNATIONAL COAL PREPARATION CONGRESS**

International coal preparation congresses started in Europe. The 1st Coal Preparation Congress took place in Paris initiated by Cerchar. The main objective of the congresses is to assist European coal industry after World War II. Then the congress was held in all five continents, in coal industry developed countries. The 18th International Coal Preparation Congress took place in St. Petersburg from 28th of June to 1st of July, 2016, to assess the prospects for the production of innovative products from preparation of coal, as well as the development of business strategies aimed at increasing efficiency of the coal industry. The 19th Coal Preparation Congress will be held in New Delhi (India) in 2019.

Международные конгрессы по обогащению угля начали проводить в Европе. Основная цель конгрессов — оказание помощи европейской угольной промышленности после Второй мировой войны. 1-й конгресс по обогащению угля состоялся в Париже по инициативе Cerchar. Затем конгресс проводили на всех пяти континентах, в странах с развитой угольной промышленностью.

XVIII Международный конгресс по обогащению угля проходил в Санкт-Петербурге 28 июня — 1 июля 2016 г. с целью оценки перспектив производства инновационных продуктов за счёт переработки угля, а также выработки бизнес-стратегий, направленных на повышение эффективности работы отрасли. В конгрессе приняли участие 900 российских и 400 иностранных делегатов — ученые, представители профильных предприятий, министерств и ведомств из 25 стран мира (Китая, Индии, Великобритании, Польши, Германии, США, Австралии, ЮАР и других).

В рамках конгресса работали следующие секции: «Сырьевая база угольной промышленности», «Проектирование углеобогащающих фабрик», «Методы гравитационного обогащения», «Флотация», «Технологии глубокой переработки угля», «Обезвоживание, сушка и брикетирование угля», «Контроль качества, автоматизация и информационные технологии в углеобогащении», «Дробление, измель-

чение, просеивание и классификация», «Исследование, переработка и обогащение угольных шламов», «Сухая сепарация угля», «Защита окружающей среды». Была организована молодёжная секция, представлено 34 доклада. Молодые учёные были освобождены от регистрационного взноса и оплаты проживания. В рамках форума также прошёл круглый стол, посвящённый законодательному и нормативному обеспечению системы профессионально-общественной аккредитации программ повышения квалификации и профессиональной подготовки инженерных кадров. Всего на заседаниях заслушано 160 докладов, их общий уровень признан весьма высоким. Работала выставка углеобогащающего оборудования. Свои разработки на ней представили крупнейшие профильные корпорации мира.

Основная цель конгресса — оценка перспектив производства инновационных продуктов за счёт переработки угля, а также выработка бизнес-стратегий, направленных на повышение эффективности работы отрасли.

На церемонии закрытия форума в МФК «Горный» ректор Владимир Литвиненко передал эстафету Раджу Кумару Сачдеву, председателю XIX Конгресса по обогащению угля. Следующий конгресс пройдет в 2019 году в Нью-Дели (Индия).

Д. г.-м. н. О. Котова

КОНФЕРЕНЦИЯ МИНЕРАЛОГОВ В РИМИНИ • CONFERENCE OF MINERALOGISTS IN RIMINI

The 2nd European mineralogical conference (EMK-2016) was held in Rimini, Italy, from the 11th to the 15th of September, 2016. About 1000 scientists from the whole world participated in the conference. The director of the Institute Academician A. M. Askhabov and DSc E. A. Golubev took part in the conference on behalf of the Institute of geology.

2-я Европейская минералогическая конференция (ЕМК-2016) проходила в г. Римини (Италия) с 11 по 15 сентября 2016 г. В работе конференции приняло участие около 1000 ученых со всего мира. От Института геологии в конференции участвовали директор Института академик А. М. Асхабов и д. г.-м. н. Е. А. Голубев. Организатором проведения конференции выступило Итальянское общество минералогии и петрологии (SIMP). Для проведения совещания был выбран международный конгресс-центр Palacongressi of Rimini, способный обслуживать совещания с участием тысячи и более человек. Примерно столько и принимало участие в конференции (более точные цифры, доступные только организаторам, не были озвучены). География участников уже традиционно не ограничилась Европой, на конференцию съехались ученые со всех континентов (кроме Антарктиды). Девиз конференции: «Minerals, rocks and fluids: alphabet and words of planet Earth» (Минералы, горные породы и флюиды: алфавит и слова планеты Земля) призвал участников, следуя от простого к



Представители от Института геологии д. г.-м. н. Е. А. Голубев и академик А. М. Асхабов

Representatives from the Institute of Geology DSc E. A. Golubev and Academician A. M. Askhabov



сложному, раскрывать минералогические тайны планеты Земля.

Научная программа конференции включала около 450 устных сообщений, в том числе пленарные доклады, и примерно столько же стендов. Доклады были распределены по 28 секциям, структурировавшим тематику конференции по следующим направлениям: S1 — Алмазы: открытые окна в мантию Земли; S2 — Эволюция мантии Земли и примитивный магматизм во времени; S3 — Летучие элементы в глубинах Земли: накопление, мобильность и последствия; S4 — Флюиды в земной коре; S5 — Флюиды и расплавы в субдукционной плавильне: генезис и последствия; S6 — Метаморфизм, коровые расплавы и гранитные магмы: от старта до остановки и от включения к интрузии; S7 — От глубинных магматических процессов до извержения вулкана; S8 — Диффузия и деформации при высокой температуре в минералах; S9 — Включения в минералах как летопись геологических процессов: новые методы анализа и применения; S10 — Кинетика минеральных реакций: микроструктуры, текстуры, химические и изотопные подписи; S11 — Прочтение и понимание метаморфических пород; S12 — Глины, цеолиты и наноструктурные минералы: от минералогии к приложениям в промышленности и охране окружающей среды; S13 — Прошлое и настоящее геоматериалов, используемых в про-



Мост, стоя на котором Юлий Цезарь принял решение перейти Рубикон (соседнюю речку)

The bridge, on which Julius Caesar decided to cross the Rubicon (nearby river)

мышленных процессах и деятельности человека; S14 — Достижения в области вычислительной и экспериментальной минералогии: путешествие от поверхности до глубин Земли и за ее пределы; S15 — Структурное поведение и энергетические свойства минералов; S16 — Новые минералы, структурные модели и минеральные группы; S17 — Минеральное разнообразие, сложность и эволюция; S18 — Планетарные материалы: от пыли до планет и ранней Земли; S19 — Драгоценные материалы; S20 — Высокотехнологичные металлические минералы в Европе; S21 — Минералогия, геохимия и переоценка промышленных и горнодобывающих отходов; S22 — Минералы платиновой группы и аксессуарные минералы: прогресс в их характеристике; S23 — Будущее важнейших металлов: минералогия, металлогенезис и геометаллургия; S24 — Петрологически-геохронологическая кооперация; S25 — Биогеохимические интерфейсы и экологическая минералогия; S26 — Опасные минералы. Окружающая среда и проблема здо-



Сфера из горной породы. При визуальном изучении были диагностированы рубины, хромшпинелиды и др.

Rock sphere. Our visual studies diagnosed ruby, chromespinelides and others

ровья человека, связанная с переработкой сырья и присутствием минералов в организме человека; S27 — Минералогические науки для понимания культурного наследия; S28 — Музеи и преподавание минералогических наук для новых поколений.

Здесь виден очень широкий охват проблем, связанных не только непосредственно с минералогией, но и с промышленностью и окружающей средой, а также с человеком.

Большой интерес всегда вызывали геологические процессы, которые выносят на поверхность Земли материалы с глубин, например метаморфические породы в горных хребтах, которые могли быть подняты в ходе горообразования с глубин около 100 км, образцы из мантии, которые могли быть перенесены магмой. Включения в природных алмазах, самом устойчивом материале, могут сохраниться при подъеме с еще больших глубин. В соответствии с этим первая секция была названа «Алмазы — открытое окно в мантию Земли». Практически все доклады здесь были построены на результатах изучения включений в алмазах, и только два доклада в качестве этого окна предложили рассматривать их структурные трансформации. Это англо-итальянский доклад А. Джонса, М. Альваро и Ф. Нестолы с интригующим названием «Алмазы: посланники из глубин космоса и из глубин времени и старше, чем Земля?». Хотя, собственно, доклад был посвящен изучению наноразмерных деформаций в структуре алмаза (например, гексагональному отклонению от кубической симметрии, которое обычно называют лонсдейлитовой фазой), вызванных мгновенными напряжениями как следами воздействия метеоритов и/или планетарных тел, на примере алмазов из Попигайской астроблемы и образцов, полученных путем экспериментального воспроизведения ударных условий. Известно, что лонсдейлитовая фаза образуется уже при ударном воздействии с давлением 60 ГПа и что сосуществование гексагональной и кубической алмазных фаз в импактных алмазах объясняется разупорядочением слоев (пакетов). Авторами доклада предложен путь формирования смешанной кубическо-гексагональной фазы углерода, объясняющий быстрое образование при ударном воздействии как лонсдейлита, так и импактного алмаза. Сообщается о получении чистого лонсдейлита в ходе ударных экспериментов, которые в течение нескольких наносекунд приближа-

ются к экстремальным РТ-условиям, соответствующим центру Земли (~ 6000 К, ~ 230 ГПа). Так как эти очень короткие, но энергоемкие события могут быть «записаны» в алмазах, мы можем начать рассматривать новые способы поиска этих важных «свидетелей» экстремальных условий в планетарных материалах. Образованные в сверхновых наноалмазы, которые могут включать и гексагональный алмаз, гипотетически могут выжить при планетарных столкновениях объектов размером с Землю и могут быть старше нашей Солнечной системы.

Еще один структурный доклад, на этот раз итало-английский, Ф. Нестолы с многочисленными соавторами был посвящен значимости кристаллографической ориентации между алмазом и его минеральными включениями для оценки одновременности роста алмаза и минерала в нем на примере хромитов магния. Показано, что включения проявляют склонность к субпараллельному расположению их атомарных плоскостей (111) с алмазной (111), но ориентация кристаллографических осей при этом различается, т. е. эпитаксия отсутствует, что может отражать механический контроль в процессе роста хромитов и алмазов.

Из многочисленных докладов химической направленности два доклада было посвящено новым минералам-геобарометрам. Это итало-английский доклад с участием того же Ф. Нестолы про новоутвержденный минерал — джеффбенит, который может, по мнению авторов, предоставить ключевую информацию о глубине формирования сверхглубоких алмазов. Ранее определенные поля устойчивости джеффбенита обеспечивали максимальное давление ~ 13 ГПа (что соответствует ~ 390 км) при 1700 К. Это подтверждает, что джеффбенит является сублитосферным минералом, но исключает прямое включение джеффбенита в алмазе на границе нижней мантии и переходной зоны. Авторы отмечают, что эти поля были получены на Ti-содержащих джеффбенитах, где Ti обычно находится в составе композитных включений, а не на Ti-обедненном джеффбе-

ните, где его чаще находят как однофазные включения в алмазах. На конференции авторы сообщили о новых экспериментах на Ti-обедненном джеффбените с его подогревом в алмазных наковальнях при давлении от 5 до 30 ГПа, поставленных с целью определения роли, которую TiO₂ играет в поле устойчивости джеффбенита, и выяснения, может ли он быть непосредственно включен в алмаз в переходной зоне или в нижней мантии. Результаты исследования показали, что отсутствие TiO₂ расширяет область устойчивости джеффбенита до существенно более высоких давлений, чем было определено ранее.

Использование нового геобарометра для условий нижней мантии предлагается и в докладе С. МакКаммон и др. (все авторы из Германии). Это магнетиоферрит, который рассматривается как продукт, выделяющийся из широко распространенного среди включений в алмазах минерала ферропериклаза. Результаты проведенного авторами изучения образования магнетиоферрита при воздействии на систему с ферропериклазом позволят уточнить РТ-условия формирования алмазов.

Большое количество докладов было связано с изотопией включений в алмазах. Основным методом изучения включений в алмазах остается микрорамановская спектроскопия, а также ВРЭМ и мессбауэровская спектроскопия.

В целом, как и в ходе успешно проведенного 1-го Европейского минералогического конгресса, проходившего во Франкфурте в 2012 году, ЕМК-2016 предоставил уникальную возможность оценить уровень развития минералогических наук, содействовал обмену новыми результатами исследований между учеными из европейских и не только — стран. Сочетание почти тридцати научных сессий и множества пленарных лекций всемирно известных ученых позволили соприкоснуться со всеми аспектами минералогических наук, получить много новой информации и провести плодотворные дискуссии с коллегами.

Д. г.-м. н. Е. Голубев

КОНФЕРЕНЦИИ ПО ПРОБЛЕМАМ ОБОГАЩЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

CONFERENCES OF MINERAL PROCESSING

Plaksin Readings has been held every autumn since 1977 in memory of Academician Igor Nikolaevich Plaksin (1900—1967). International Conference «Resource saving and environmental protection at mineral raw concentrating and processing» (Plaksin Readings — 2016) was held in 26—30 September, 2016, in St. Petersburg on the basis of «Mekhanobr» Institute, where the 100th Anniversary of the first engineering, scientific and project organization in Russia, working in the field of mineral engineering and technology, was celebrated. At the same time the 11th Seminar on technological mineralogy was held, because modern technological RMO Commission was originated within the walls of Institute «Mekhanobrtekhnika».

Next Plaksin Readings will be held in 2017 in Krasnoyarsk.

Плаксинские чтения проводятся каждую осень с 1977 года в память об академике Игоре Николаевиче Плаксине (1900—1967). Международная конференция «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья» (Плаксинские чтения — 2016) состоялась 26—30 сентября 2016 г. в Санкт-Петербурге на базе Института «Механобр», где отмечали 100-летие первой в России инженерной, научной и проектной организации, работающей в области техники и технологии минерального сырья. Организаторами конференции стали научный совет РАН по проблемам обогащения

полезных ископаемых, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Научно-производственная корпорация «Механобр-техника», ЗАО «Механобр инжиниринг», ОАО «Институт Механобр», Санкт-Петербургский горный университет, Национальный исследовательский технологический университет МИСиС.

В конференции участвовали 285 человек (из них 120 молодых ученых) из 45 организаций, в том числе 11 академических и 9 отраслевых институтов, 10 вузов, 5 горно-обогатительных и металлургических предприятий. В качестве докладчиков в конференции приняли участие 6 членов Рос-



Открытие конференции «Плаксинские чтения — 2016»

Opening of Conference «Plaksin Readings — 2016»

сийской академии наук и ее региональных отделений, 49 докторов наук, в том числе 32 доктора наук, 65 кандидатов наук.

Среди участников совещания были представители Китая, США, Казахстана, Украины, Беларуси, Монголии, Польши, Сербии, Украины.

На конференции заслушано 3 пленарных и 7 заказных секционных докладов. На четырех секциях и семинаре было представлено 151 доклад, а также обсуждены стендовые доклады.

Представленные на конференции доклады свидетельствуют, что теория и практические работы по обогащению руд развиваются в направлении междисциплинарных исследований в области применения комбинированных процессов с широким привлечением методов современной вибрационной механики, физико-химических методов модификации свойств минерального сырья и глубокого изучения его вещественного состава с использованием современных методов технологической минералогии.

Работали следующие секции: «Дезинтеграция и рудо-подготовка», «Флотация, гравитация, магнитная и электромагнитная сепарация», «Комплексная переработка минерального сырья. Гидрометаллургические процессы», «Переработка техногенного сырья. Экологические и экономические аспекты».

Современная технологическая комиссия РМО зародилась в институте «Механобр-техника». Именно поэтому одновременно проходил 11-й семинар по технологической минералогии. Тема семинара: «Результаты междисциплинарных исследований в технологической минералогии». Были заслушаны следующие пленарные доклады:

Щипцов В. В., Пирогов Б. И., Ожогина Е. Г., Котова О. Б. (Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, ВИМС им. Н. М. Федоровского, Москва, Институт геологии Коми НЦ РАН, Сыктывкар, Россия). — Технологическая минералогия в развитии минерально-сырьевой базы России.

Асхабов А. М. (Институт геологии Коми НЦ РАН, Сыктывкар, Россия). — Минералогические следствия вторжения в «мир обойденных величин».

Юсупов Т. С., Кондратьев С. А. (Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, Новосибирск, Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия). — Задачи обогащательной минералогии в совершенствовании раскрытия сростков и селективного разрушения минералов.

Вайсберг Л. А., Кононов О. В., Устинов И. Д. (НПК «Механобр-техника», Санкт-Петербург; МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия). — Минералогия молибдошеелитовых руд; эволюция их раскрытия и предварительной концентрации.

В рамках «Плаксинских чтений — 2016» была проведена молодежная научная школа, на которой отдельно было представлено свыше 35 сообщений молодых специалистов и аспирантов.

В своем решении конференция отметила целесообразность расширения фундаментальных и прикладных исследований по инновационным технологиям и фундаментальным направлениям в области переработки полезных ископаемых, обеспечивающих полноту использования природного и нетрадиционного минерального сырья с получением высококачественных готовых продуктов, включая следующие приоритеты:

- научное обоснование типоморфных признаков продуктивной минерализации, основных технологических свойств и обогатимости нетрадиционного минерального сырья на основе применения комплекса современных методов минералого-технологических исследований;

- развитие теории структурных, физико-химических, технологических свойств минералов в процессе комбинированных физико-химических и энергетических воздействий на геоматериалы, минеральные и водные суспензии для повышения извлечения тонкодисперсных частиц ценных компонентов из труднообогатимого и нетрадиционного минерального сырья;

- разработку новых классов флотационных реагентов, обеспечивающих увеличение полноты и качества извлечения цветных и благородных металлов на микро- и наноуровнях из труднообогатимых руд и техногенного сырья сложного вещественного состава;

- теоретическое обоснование физико-химических закономерностей процессов извлечения ценных компонентов из продуктов сжигания углей, отходов металлургических и горно-обогатительных предприятий, других видов нетрадиционного минерального сырья;

- исследования в области моделирования и прогнозирования процессов дробления, измельчения и класси-



Академик А. М. Асхабов поздравляет академика Л. А. Вайсберга с юбилеем Института «Механобр»

Academician A. M. Askhabov congratulates Academician L. A. Viseberg with the jubilee of the «Mekhanobr» Institute

фикации с использованием современных программных продуктов;

— расширение междисциплинарных исследований в области переработки техногенного минерального сырья.

На совещании были вручены 10 грамот и подарки молодым ученым, представившим наиболее интересные теоретические и экспериментальные результаты исследований в области охраны окружающей среды, обогащения и глубокой комплексной переработки минерального сырья.

Материалы конференции опубликованы в сборнике «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья» ((Плаксинские чтения — 2016). Москва: Руда и металлы, 2016. 659 с. ISBN 978-5-98191-081-4) и размещены на сайте научной электронной библиотеки e-Library.

Очередные «Плаксинские чтения» будут проведены в 2017 году в Красноярске.

Д. г.-м. н. О. Котова



The regular 19th Scientific Conference *Geological and archeological researches in Timan-Northern Ural region* was held on 27th of October, 2016. This year the conference was conducted within the All-Russian Festival of science in Komi Republic held by Syktyvkar State University named after Pitirim Sorokin.

27 октября 2016 года состоялась 19-я научная конференция «Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе». В этом году она проходила в рамках Всероссийского фестиваля науки в Республике Коми, который проводится Сыктывкарским государственным университетом имени Питирима Сорокина.

Традиционно организаторами конференции являлись Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Институт языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН. Конференция имеет междисциплинарный характер, объединяя несколько научных направлений — геологию, географию, археологию, археоминералогия, этнографию, историю географических открытий, что позволяет студентам разных специальностей ознакомиться и принять участие в обсуждении результатов работ в смежных областях знаний, расширить свой кругозор.

С приветственным словом к участникам конференции обратились доктор исторических наук, главный научный сотрудник ИЯЛИ Коми НЦ УрО РАН Павел Юрьевич Павлов и директор Института естественных наук СГУ им. Питирима Сорокина Ирина Николаевна Юранёва. Они отметили большое значение ежегодной конференции «Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе» для начинающих исследователей, делающих свой первый шаг в науку, и пожелали ее участникам успешной и плодотворной работы.

В работе конференции приняли участие преимущественно студенты, аспиранты и молодые исследователи Сыктывкарского государственного университета (Институт естественных наук, Институт истории и права), Института геологии и Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН. Присутствовали наши гости из Череповецкого государственного университета (С. В.



Марков) и Ухтинского государственного технического университета (О. Н. Подило, З. М. Ахмеджанова, Е. С. Кузьмина). Самый молодой участник конференции — Д. С. Семянников, ученик Лицея народной дипломатии (Сыктывкар). Заочные участники, статьи которых опубликованы в сборнике конференции, представляли Российский университет дружбы народов, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Российский государственный профессионально-педагогический университет (филиал в Нижнем Тагиле), Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет.

В заседаниях приняли участие более 50 человек. Наряду со студентами в зале присутствовали преподаватели СГУ, научные сотрудники Института геологии и Института языка, литературы и истории Коми НЦ УрО РАН — руководители студенческих работ. Было заслушано 20 устных докладов. Большая часть докладов была посвящена результатам экспедиционных исследований прошедшего полевого сезона, во время которого были получены новые данные, сделаны находки, пока прошедшие только первичную обработку.

Результаты полевых работ вузовско-академической экспедиции, в рамках которой летом 2016 года проводилась учебная геолого-съёмочная практика студентов-геологов 2-го курса, отражены в следующих докладах: «Петрографический состав грубовалунного материала флювиогляциальных отложений бассейна р. Асывож (поднятие Джеджимпарма)» (С. Н. Хомутильников); «Геологическое строение участка Шераэль (поднятие Джеджимпарма)» (С. О. Куликов, П. Г. Витязев); «Геологическое строение, состав и условия формирования пород ыбской свиты (возвышенность Джеджимпарма)» (А. И. Морохин, В. Ф. Карманов); «Условия осадконакопления в позднем рифее (поднятие Джеджимпарма)» (А. О. Дуркина, М. Э. Логинов, Д. А. Баранов). Несмотря на то, что работы вузовско-академической экспедиции на возвышенности Джеджимпарма (Усть-Куломский район РК) проводятся уже на протяжении 15 лет, каждый год открываются новые объекты исследования, расширяются и углубляются представления о геологическом строении этой территории.

Результаты полевых исследований четвертичных отложений продемонстрированы в докладах Н. Н. Воробьева «Валунные суглинки из береговых отложений в долине р. Куи (низовье р. Печоры)» и В. А. Исакова «Флювиальные отложения в долине р. Куи (северо-запад Большеземельской тундры)»; минеральных вод Республики Коми — в докладах А. А. Яковлева «Характеристика засоления поверхностных вод в районе Сереговского сользавода» и А. Ю. Лобанова «Сравнительная характеристика Серёговского и Сольвычегодского месторождений минеральных вод».

Большой интерес вызвали доклады наших гостей из УГТУ О. Н. Подило «Морфологические особенности золота в долине ручья Сюрасрузьвож, Приполярный Урал», З. М. Ахмеджановой «Роль органических остатков для характеристики условий образования фанского яруса Южного Тимана», а также Д. С. Семяникова «Экзогенные формы рельефа Полярного Урала (на примере Константинова Камня)».

В археологическом блоке докладов представлены результаты полевых работ — новых раскопок и новых открытий как в Тимано-Североуральском, так и в сопредельных регионах. Наш гость из Череповецкого госуниверситета С. В. Марков совместно со своим руководителем Н. В. Ко-

соруковой представил доклад «Исследование торфяникового памятника Погостище-15 в бассейне озера Воже в 2016 г.». Изучение этого памятника продолжается уже несколько лет [1, 2], но, несмотря на это, раскопки каждого полевого сезона приносят новые открытия. Не меньший интерес вызвали и сообщения, посвященные исследованию археологических памятников Республики Коми — М. С. Шахова «Групповое погребение Эжольского могильника (первые результаты исследований)», И. А. Будзанивского «Заметки о рубящих орудиях эпохи мезолита археологического памятника Вылыс Том — 2». Новостями о раскопках уникальной пещеры Иманай, которая находится в национальном парке «Башкирия», поделилась М. Н. Паршукова в своем докладе «Львино-медвежья пещера Иманай: раскопки костного детрита плейстоценовых млекопитающих».

И наконец, результаты работ по этнографии представили в своих докладах Д. Н. Роголёв («Характеристика хозяйственно-бытовых построек сысольских коми в XX веке»), И. А. Коваль («Ставрологические памятники п. Кажым Койгородского района Республики Коми») и Е. А. Худин («Карта заселения бассейна р. Вычегды»).

Хотелось бы обратить внимание, что в сборнике докладов конференции читатель найдет много дополнительной интересной информации по инженерно-геологическим, эколого-геологическим, археоминералогическим, историко-географическим и другим направлениям исследований. С электронным вариантом сборника докладов «Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе» (том XIX), содержащем 36 публикаций, можно ознакомиться по адресу: <http://geo.komisc.ru>.

Участники конференции активно обсуждали результаты исследований, возникали дискуссии. По итогам конференции всем участникам конференции вручены сертификаты, лучшие доклады отмечены дипломами I и II степени.

Организаторы конференции выражают благодарность руководителям студенческих работ — В. И. Силину, А. Н. Сандуле, А. В. Волокитину, Т. И. Чудовой, В. А. Семенову, Т. Ю. Туркиной, Т. П. Митюшевой, Ю. Б. Серикову, Н. Н. Косоруковой и другим за активное участие в подготовке конференции, а также сотрудникам Института геологии Коми НЦ УрО РАН — В. А. Капитановой, О. А. Молодцовой, Г. А. Каблису, А. Ю. Перетягину, обеспечившим своевременную подготовку и издание сборника докладов конференции. Особую признательность выражаем руководству Института геологии и Сыктывкарского госуниверситета за всемерную поддержку конференции.

Юбилейная, 20-я, конференция «Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе» состоится 26 октября 2017 года.

Литература

1. Воронков С. А., Косорукова Н. В. Исследование торфяникового памятника Погостище-15 в бассейне озера Воже в 2014 г. // Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе. Сыктывкар, 2014. Т. XVII. С. 119—127.
2. Лукинцев В. А., Косорукова Н. В. Костяные наконечники стрел мезолитической стоянки Погостище-15 (по материалам исследований 2011—2015 гг.) // Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе. Сыктывкар, 2015. Т. XVIII. С. 111—116.

К. г.-м. н. Т. Майорова



ХРОНИКА

3 ноября — 25-летний юбилей кафедры геологии Сыктывкарского государственного университета.

5 ноября — 70-летний юбилей старшего инженера-химика Т. Д. Косаревой.

9 ноября — проведена экскурсия в Геологическом музее им. А. А. Чернова для представителей торгово-промышленных палат и отраслевых союзов Северо-Запада.

10 ноября — 80-летний юбилей старшего научного сотрудника И. В. Швецовой.

17 ноября — д. г.-м. н. А. И. Антошкина приняла участие в конференции «Микробные сообщества в эволюции биосферы с древнейших времен до наших дней», посвященной памяти Г. А. Заварзина (Москва).

20 ноября — 50-летний юбилей А. К. Потапова (технический персонал).

21–24 ноября — к. г.-м. н. И. С. Астахова приняла участие в Международной научной конференции, посвященной 300-летию Минералогического музея имени А. Е. Ферсмана (Москва).

21–25 ноября — директор Института геологии академик А. М. Асхабов принял участие в Первом Российском кристаллографическом конгрессе (Москва).

23–25 ноября — д. г.-м. н. Л. Н. Андреичева приняла участие во Всероссийской научной конференции «Пути эволюционной географии», посвященной памяти профессора А. А. Величко (Москва).

24 ноября — делегация Республики Беларусь под руководством председателя Гродненского областного исполнительного комитета В. А. Лисковича посетила Геологический музей им. А. А. Чернова.

26 ноября — 30 лет трудовой деятельности старшего научного сотрудника Н. В. Конановой.

29 ноября — в Институте геологии Коми УрО РАН состоялась юбилейная, 25-я, молодежная конференция «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента».

Магистрант базовой кафедры СГУ при Институте геологии Коми НЦ УрО РАН Бронислав Канев стал стипендиатом Федерального правительства (12.09.2016) (науч. рук. д. г.-м. н. Т. М. Безносова).

Chronicle

November 3 — The 25th Anniversary of Department of Geology of Syktyvkar State University.

November 5 — The 70th anniversary of senior engineer-chemist T. D. Kosareva.

November 9 — The representatives of chambers of commerce and trade unions of the North-West visited the Geological Museum named after A. A. Chernov.

November 10 — The 80th Anniversary of a senior researcher I. V. Shvetsova.

November 17 — DSc A. I. Antoshkina took part in the conference «Microbial communities in the biosphere evolution from ancient times to the present», dedicated to the memory of G. A. Zavarzin (Moscow).

November 20 — The 50th Anniversary of A. K. Potapov (technical staff).

November 21–24 — PhD I. S. Astakhova took part in the International scientific conference devoted to the 300th Anniversary of the Mineralogical Museum named after A. E. Fersman (Moscow).

November 21–25 — Director of the Institute of Geology, Academician A. M. Askhabov participated in the First Russian Crystallographic Congress (Moscow).

November 23–25 — DSc L. N. Andreicheva participated in the All-Russian Scientific Conference «Ways of evolutionary geography» dedicated to the memory of Professor A. A. Velichko (Moscow).

November 24 — The delegation of Belarus Republic, headed by Chairman of Grodno regional Executive Committee V. A. Liskovich, visited the Geological Museum named after A. A. Chernov.

November 26 — 30 years of work of senior researcher N. V. Konanova.

November 29 — The Jubilee 25th Youth Conference «Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment» was held in the Institute of Geology of Komi SC UB RAS.

Master's student at SSU base department at Institute of Geology Komi SC UB RAS Bronislav Kanev was awarded with the stipendium of Federal Government (12.09.2016) (science supervisor Dr. T. M. Beznosova).

Ответственный за выпуск:
И. А. Перовский

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

Компьютерная верстка
Т. В. Хазовой