



Вестник

Ноябрь, 2018 г., № 11 (287)



Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

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

Содержание

Научные статьи

- | | | | |
|--|----|---|----|
| Метапсевдотахилит центральной щелочной полосы
ильмено-вишневогорского полиметаморфического
комплекса (Южный Урал)
<i>А. Б. Немов, Е. В. Медведева, В. А. Котляров</i> | 3 | Биостратиграфический и событийно-
стратиграфический рубеж лудлова и пржидола
на западном склоне Приполярного Урала
<i>Т. М. Безносова, В. А. Матвеев, Л. В. Соколова</i> | 31 |
| Акселерограммы сильных движений
для Сыктывкара
<i>В. А. Лютое</i> | 12 | Биоразнообразие верхнеордовикского рифа
Большая Косью (Северный Урал)
<i>Л. А. Шмелёва</i> | 38 |
| Типохимические особенности
цирконов верхнепротерозойских отложений
няровейской серии и немурьюганской свиты
(Полярный Урал)
<i>О. В. Гракова</i> | 22 | Фосфориты и глауконит: причина парагенезиса
<i>Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, Н. В. Рыбина</i> | 43 |
| | | Минералогия современных эвапоритов урочища
Талое озеро (Республика Хакасия)
<i>М. О. Хрущева, П. А. Тишин, А. Л. Архипов, А. И. Чернышов</i> ... | 48 |

Хроника, события, факты

- | | | | |
|--|----|---|----|
| Инновации в приборной базе
геологических исследований | 54 | XXVII научная конференция «Структура, вещество,
история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» .. | 58 |
| Памяти Н. Н. Герасимова | 58 | «Зубр» классической геологии
(к 60-летию юбилею В. А. Салдина)..... | 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 — 2018:

- | | |
|---|---|
| <i>А. И. Антошкина</i> , Сыктывкар, Россия | <i>С. К. Кузнецов</i> , Сыктывкар, Россия |
| <i>М. А. Т. М. Брокманс</i> , Тронхейм, Норвегия | <i>М. Мартинс</i> , Ору-Прету, Бразилия |
| <i>И. Н. Бурцев</i> , Сыктывкар, Россия | <i>Т. П. Майорова</i> , Сыктывкар, Россия |
| <i>Д. А. Бушнев</i> , Сыктывкар, Россия | <i>Ж. К. Мелгарехо</i> , Барселона, Испания |
| <i>Ю. Л. Войтеховский</i> , Санкт-Петербург, Россия | <i>Ф. Мон</i> , Пекин, Китай |
| <i>А. Д. Гвишиани</i> , Москва, Россия | <i>П. Мянник</i> , Таллин, Эстония |
| <i>И. В. Козырева</i> , Сыктывкар, Россия | <i>А. М. Пыстин</i> , Сыктывкар, Россия |
| <i>М. Комак</i> , Любляна, Словения | <i>К. М. Соджа</i> , Гамильтон, Нью-Йорк, США |
| <i>Р. И. Конеев</i> , Ташкент, Узбекистан | <i>О. В. Удорткина</i> , Сыктывкар, Россия |
| <i>В. А. Коротеев</i> , Екатеринбург, Россия | <i>М. А. Федонкин</i> , Москва, Россия |
| <i>С. В. Кривовичев</i> , Санкт-Петербург, Россия | |



November, No. 11 (287), 2018

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

- | | |
|--|---|
| Metapseudotachylyte from central alkaline band of ilmeny-visnevogorsky polymetamorphic complex (South Urals)
<i>A. B. Nemov, E. V. Medvedeva, V. A. Kotlyarov</i> | Biostratigraphical and event-stratigraphical boundary of the Ludlow and Pridoli on the Western slope of Subpolar Urals
<i>T. M. Beznosova, V. A. Matveev, L. V. Sokolova</i> |
| 3 | 31 |
| Basis of seismic microundation for Syktyvkar
<i>V. A. Lytoev</i> | Biodiversity of the Upper Ordovician Bol'shaya Kos'yu reef (Northern Urals)
<i>L. A. Shmelyova</i> |
| 12 | 38 |
| Comparative characteristic of zircons of upper-proterozoic deposits, the Nyarovei series and the Nemuryugan suite (Polar Urals)
<i>O. V. Grakova</i> | Phosphorites and glauconite: cause of paragenesis
<i>Ya. E. Yudovich, M. P. Ketris, N. B. Rybina</i> |
| 22 | 43 |
| | Mineralogy of modern evaporites of the Taloe Lake tract (Republic of Khakassia)
<i>M. O. Khrushcheva, P. A. Tishin, A. L. Arkhipov, A. I. Chernyshov</i> |
| | 48 |

Chronicle, events, facts

- | | |
|--|---|
| Innovations in nstrumental base of geological researches | 27 th Scientific Conference «Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment»..... |
| 54 | 58 |
| In memory of N. N. Gerasimov | Professional of classical geology (to the 60 th anniversary of Viktor Saldin) |
| 58 | 60 |

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

2018 Editorial Board:

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



МЕТАПСЕВДОТАХИЛИТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ПОЛОСЫ ИЛЬМЕННО-ВИШНЕВОГОРСКОГО ПОЛИМЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А. Б. Немов¹, Е. В. Медведева^{1,3}, В. А. Котляров²

¹Ильменский государственный заповедник, Миасс, ya.andrew808@yandex.ru

²Институт минералогии УрО РАН, Миасс

³Южно-Уральский государственный университет (НИУ), Миасс

Среди милонитизированных пород Центральной щелочной полосы (ЦЩП) ильмено-вишневогорского полиметаморфического комплекса (ИВПК) впервые было обнаружено линзовидное тело (2 × 3 м) метапсевдотахилита, сложенного сетью тонких прожилков псевдотахилитового материала, секущих породу кварц-биотит-полевошпатового состава. Микроскопическое изучение текстурно-структурных особенностей показало наличие двух типов метапсевдотахилитовых жил: ранние милонитизированные метапсевдотахилиты и поздние метапсевдотахилиты. В метапсевдотахилитовом агрегате обнаружена Th-U-Y-REE-минерализация, представленная редкими минералами ряда *торогуммит-коффинит* и *фергусонит-(Y)* (REMMA-202 с LZ Link Systems с Si-Li-детектором). Состав метапсевдотахилита соответствует граниту нормальной щелочности и фиксирует высокие концентрации легких REE и Th, U, Y (AAS и ICP-MS). Наличие разновозрастных метапсевдотахилитов указывает на полистадийное преобразование вмещающих пород ЦЩП и фиксирует процесс частичного фрикционного плавления породы в условиях стресса на заключительных этапах становления комплекса.

Ключевые слова: метапсевдотахилит, ильмено-вишневогорский полиметаморфический комплекс.

METAPSEUDOTACHYLITE FROM CENTRAL ALCALINE BAND OF ILMENY-VISNEVOGORSKY POLYMETAMORPHIC COMPLEX (SOUTH URALS)

A. B. Nemov¹, E. V. Medvedeva¹, V. A. Kotlyarov²

¹Ilmeny State Reserve, Miass

²Institute of Mineralogy UB RAS, Miass

³National Research South Ural State University, Miass Branch

For the first time, among Central Alkaline Band (CAB) mylonitic rocks of the Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex (IVPC) we found a lenticular body of quartz-biotite-feldspar composition (2 × 3 m) with complicated network of thin intersecting recrystallizing veins of metapseudotachylytes. Microscopic research of textural and structural features revealed the presence of two types of metapseudotachylyte veins: early mylonitized metapseudotachylytes and late metapseudotachylytes. In the metapseudotachylyte body discovered Th-U-Y-REE-mineralisation are represented by rare minerals of solid-solution series thorogummite-coffinite and fergusonite-(Y) (REMMA-202 LZ Link systems with Si-Li detector). The composition of the metapseudotachylyte corresponds to normal alkaline granite and has high concentrations of LREE and Th, U, Y (AAS and ICP-MS). The presence of heterochronous metapseudotachylytes indicates a multistage transformation of CAB host rocks, and records the process of partial frictional melting of the rock under stress, in the final stages of formation of the complex.

Keywords: metapseudotachylyte, Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex.

Введение

Псевдотахилиты — это продукты экстремальных хрупких деформаций, мгновенно формирующиеся в результате дробления и частичного плавления горных пород [22]. Они представляют собой секущие жилы в горных породах, состоящие из стекловидного или тонкозернистого матрикса с включениями обломков минералов вмещающей породы. Преобразованные и перекристаллизованные разности псевдотахилита названы метапсевдотахилитами, а милонитизированные — милонитовыми метапсевдотахилитами.

Ранее псевдотахилиты как разновидность тектонитов на территории ИВПК не были описаны. Множество исследователей [2, 4–6, 8] отмечают широкое развитие процессов брекчирования, катаклазирования и милонитизации щелочных, карбонатно-силикатных и метаморфических пород комплекса, которые осложнены син- и посттектоническими процессами метасоматических преобразований (альбитизация, карбонатизация, биотитизация и т. д.). Термины «катаклазирование» и «милонитизация» нередко применялись к породам ИВПК ошибочно, без рассмо-

трения фактических текстурно-структурных особенностей пород. Изучение особенностей тектонитов ИВПК за последние 20 лет [1, 15, 20] позволило выявить в породах комплекса развитие меридиональных зон милонитизации, которые фиксируют региональную сдвиговую зону в пределах ИВПК. Современная классификация тектонитов [23] позволяет выделить среди пород ИВПК милониты, протомилониты, ультрамилониты [9, 11]. Обнаружение среди пород ЦЩП метапсевдотахилитов расширяет количество разновидностей тектонитов и свидетельствует о развитии стресс-деформаций на заключительном этапе формирования комплекса.

Методы исследования

Текстурно-структурные особенности породы и соотношения минералов в них были исследованы на микроскопе Olympus BX 51. Состав петрогенных компонентов пород был определен атомно-абсорбционным методом (аналитики Л. Б. Лапшина, Н. В. Шаршуева; «ЮУЦКП», Миасс), редкоземель-

ные, редкие и рассеянные элементы — ICP-MS (аналитики К. А. Филиппова, М. С. Свиренко; «ЮУЦКП», Миасс). Химические анализы состава минералов выполнены на растровом электронном микроскопе «РЭММА-202 М» с энергодисперсионной приставкой LZ Link Systems с Si-Li детектором. Стандарты: AstJMEХ scientific Limited MJNM 25-53 Mineral Mount serial № 01-44. Режим съёмки: при разрешении детектора 160 эВ, ускоряющем напряжении 20—30 кВ, силе тока 3×10^{-3} А, диаметром пучка 1—2 мкм. Коррекция данных производилась с использованием программы Magellanes.

Геологическое положение

Комплекс щелочных пород ИВПК представлен Ильменогорским (на юге) и Вишневогорским (на севере) миаскитовыми массивами, соединенными Центральной щелочной полосой (ЦЩП) интенсивно дислоцированных щелочных пород сиенитового состава, включающую в себя тела карбонатитов, метасоматитов, а также глыбообразные (будинированные) тела метаморфических и магматических пород. В районе исследования (впадения р. Миасс в вдхр. Аргазь; рис. 1) ЦЩП имеет мощность 100—150 м, ограничи-

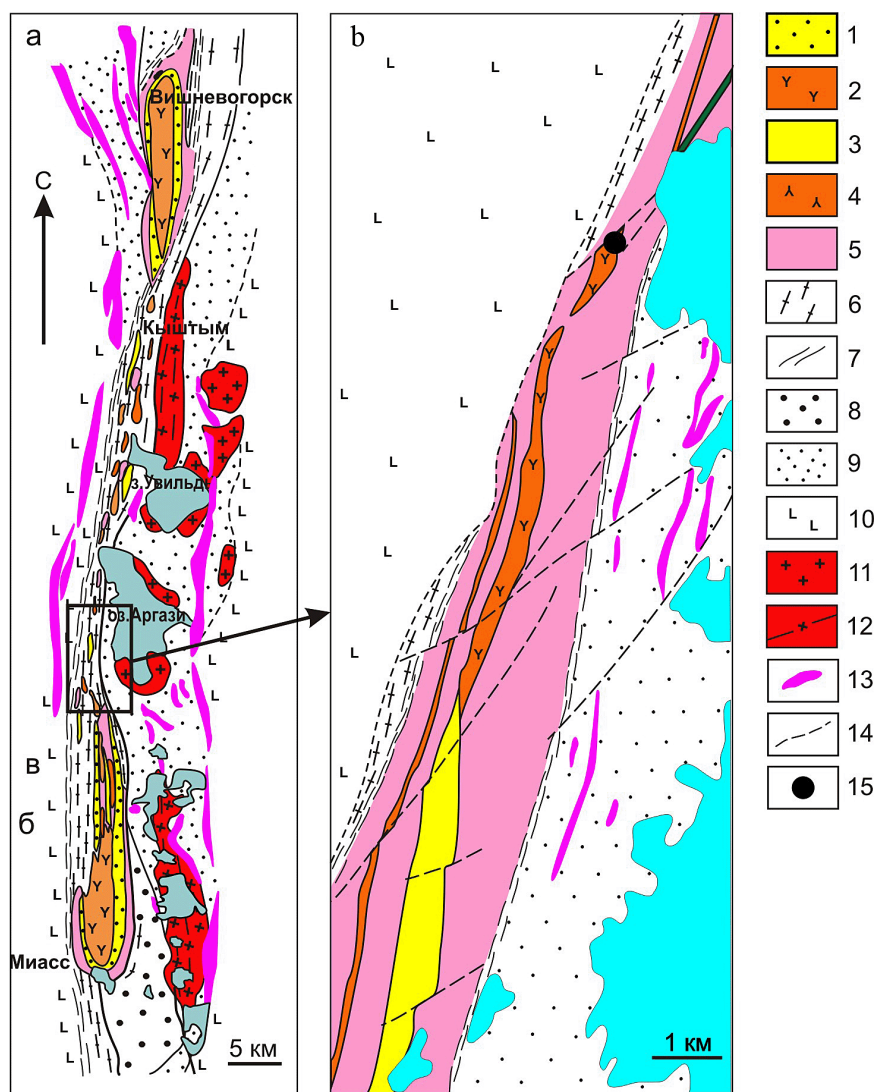


Рис. 1. Схема геологического строения: а — ильмено-вишневогорского полиметаморфического комплекса (Русин и др., 2006); б — Центральной щелочной полосы (Юрецкий и др., 1982).

1 — фенитовая оторочка; 2 — массивы миаскитов (O_2); 3 — нерасчлененные щелочные породы (O_2); 4 — массивы сиенитов (O_2); 5 — селяннинская серия амфибол-гнейсово-плаггиомигматитовая (AR-PR₁); 6 — бластомилониты гранитоидного и сиенитового состава (P₂-T₁(?)); 7 — милониты Кыштымского сдвига-надвига; 8 — еланчиковская толща плаггиосланцев и мигматитов инъекционного типа; 9 — сайтовская серия, метатерригенная; 10 — зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 11 — увильдинский монзонит-гранитный комплекс (Pz₃); 12 — гнейсовидные граниты Кисегачского комплекса; 13 — метатрафиты; 14 — поздние тектонические разломы; 15 — точка опробования

Fig. 1. Schematic geological maps: a — of the Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex, after (Rusin et al., 2006); b — Central alkaline band, after (Yuretskiy et al., 1982).

1 — fenite; 2 — Middle Ordovician miaskite massifs; 3 — Middle Ordovician indefinite alkaline rocks (O_2); 4 — Middle Ordovician syenite massifs (O_2); 5 — Selyankino Group: Archean to Early Proterozoic amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks; 6 — Middle Permian-Lower Triassic (?) granitic and syenitic blastomylonites; 7 — mylonites of Kyshtym shear-thrust; 8 — Elanchik Sequence: plagioshales and injection migmatites; 9 — Saitovo Sequence: metaterrigenous rocks; 10 — greenschist volcanosedimentary complexes of West Magnitogorsk and Aramil-Sukhteli zones; 11 — Upper Precambrian Uvildy monzogranitic complex; 12 — gneissic granites Kisekach complex; 13 — metatramafic rocks; 14 — late faults; 15 — the place of sample



ваясь с запада цепью тел миаскитов, а с востока — фенитов, вмещающими для которых служат породы селянжинской толщи [6]. Все породы интенсивно милонитизированы [1, 4].

Объект исследования

Линзовидное тело меланократовых пород (3×2 м) кварц-биотит-полевошпатового состава, осложненного сетью трещинок, по которым развивается метасевдотахилит, расположено среди пород сиенитового состава, представленных перемежающимися линзовидными телами милонитизированных миаскитов, сиенитов и фенитов неясного генезиса. Граница с вмещающими породами четко выражена. Структурно-текстурные особенности вмещающих пород свидетельствуют о развитии в них хрупко-пластичных деформаций, соответствующих условиям формирования от амфиболитовой до зеленосланцевой фазии метаморфизма на этапе 270–240 млн лет [20, 9, 11].

Порода кварц-биотит-полевошпатового состава, вмещающая метасевдотахилиты, имеет мелкозернистую структуру, тонкопрожилковую текстуру. Метасевдотахилиты имеют тонкозернистую структуру.

Минеральный состав: альбит — 65–80 %, К-На-полевой шпат — 10–15 %, кварц — 5–7 %, слюда ряда *аннит-флогопит* — 5–8 %, акцессорные минералы (ильменит, апатит, кальцит, циркон, титаномагнетит, коффинит-торогуммит, фергусонит-(Y)) — 3–5 %.

Метасевдотахилитовые жилки состоят из тонкозернистого материала матрикса кварц-биотит-альбитового состава и тонкодисперсных частиц рудных минералов, характеризуются скрытокристаллической структурой с элементами порфирокластовой, текстура преимущественно флюидальная, местами милонитовая. Эти породы являются продуктом частичного фрикционного плавления вмещающей их

породы в условиях стресса [14, 16, 23] и содержат фрагменты ранее образованных катаклазированных зерен.

Текстурно-структурные особенности породы

Матрикс породы представлен катаклазированными зернами полевых шпатов размером 0.001–2 мм, часто обнаруживаются крупные катакласты (до 2 мм) сложенные мелкими зернами альбита (рис. 3, а), реже они сложены ильменитом, титаномагнетитом (0.02–0.5 мм), биотитом (до 0.5 мм) и цирконом (до 0.02 мм). Крупные катакласты полевых шпатов погружены в тонкозернистый перекристаллизованный агрегат альбита, биотита, кальцита и рудных минералов (0.05 мм и менее). Ориентировка минералов плохо различима, но фрагментарно проявляется линейность.

Метасевдотахилитовые жилки мощностью от 0.02 до 0.3–10 мм имеют сложную форму, образуют затеки, складки, вздутия, реже встречаются более тонкие жилки секущего характера (рис. 3, б). Материал более крупных метасевдотахилитовых жилок представлен тонкозернистым агрегатом, включающим в себя катаклазированные и перекристаллизованные зерна полевых шпатов, биотита, кварца, рудных и акцессорных минералов. В них формируются милонитовые структуры с CS-плоскостями, образованные ориентированными катакластами полевых шпатов (0.05–0.01 мм), и порфирокласты, нередко имеющие структуру «ядро—оболочка» σ -типа (рис. 3, с, d). Здесь же отмечаются асимметричные складки, образованные тонкозернистыми и пластично-деформированными зернами полевых шпатов, кварца и рудных минералов. Псевдотахилитовый материал отчетливо маркируется пылеватыми зернами рудных минералов и биотита.

В тонких метасевдотахилитовых жилках отмечается только линейная ориентировка зерен минералов (С-плоскость). Вся порода вместе с жилками метасевдотахилитов осложнена сетью поздних микро-трещин со смещением (зеркала скольжения; рис. 3, е) и трещин, заполненных ксеноморфными агрегатами рудных минералов (рис. 3, f).

Минеральный состав метасевдотахилита

Калиевый полевой шпат (0.5–2 мм) по составу соответствует ортоклаз-микроклину с примесью Ва (до 0.01 к. ф.). Плагиоклаз (0.01–0.5 мм) представлен олигоклаз-альбитом (An 3–11). Темная слюда группы биотита соответствует флогопиту: в метасевдотахилитовых жилках образует мелкие зерна (0.01–0.03 мм), а в матриксе с катакластами встречаются индивиды до 0.2 мм. Слюда ряда *аннит—флогопит* (f 44–50 %) содержит Ti (до 0.11 к. ф.), характеризуется полным отсутствием примесей Mn, Ca и Fe^{3+} . Акцессорные минералы — ильменит и титаномагнетит, которые образуют тонкодисперсную вкрапленность в метасевдотахилитовом жильном агрегате. Ильменит представлен двумя генерациями: I — гипидиоморфными зернами с низким содержанием MnO (0.54–3.62 мас. %) и примесью Nb_2O_5 (0.60–



Рис. 2. Метасевдотахилит кварц-биотит-полевошпатового состава

Fig. 2. Metapseudotachylyte of quartz-biotite-feldspar composition

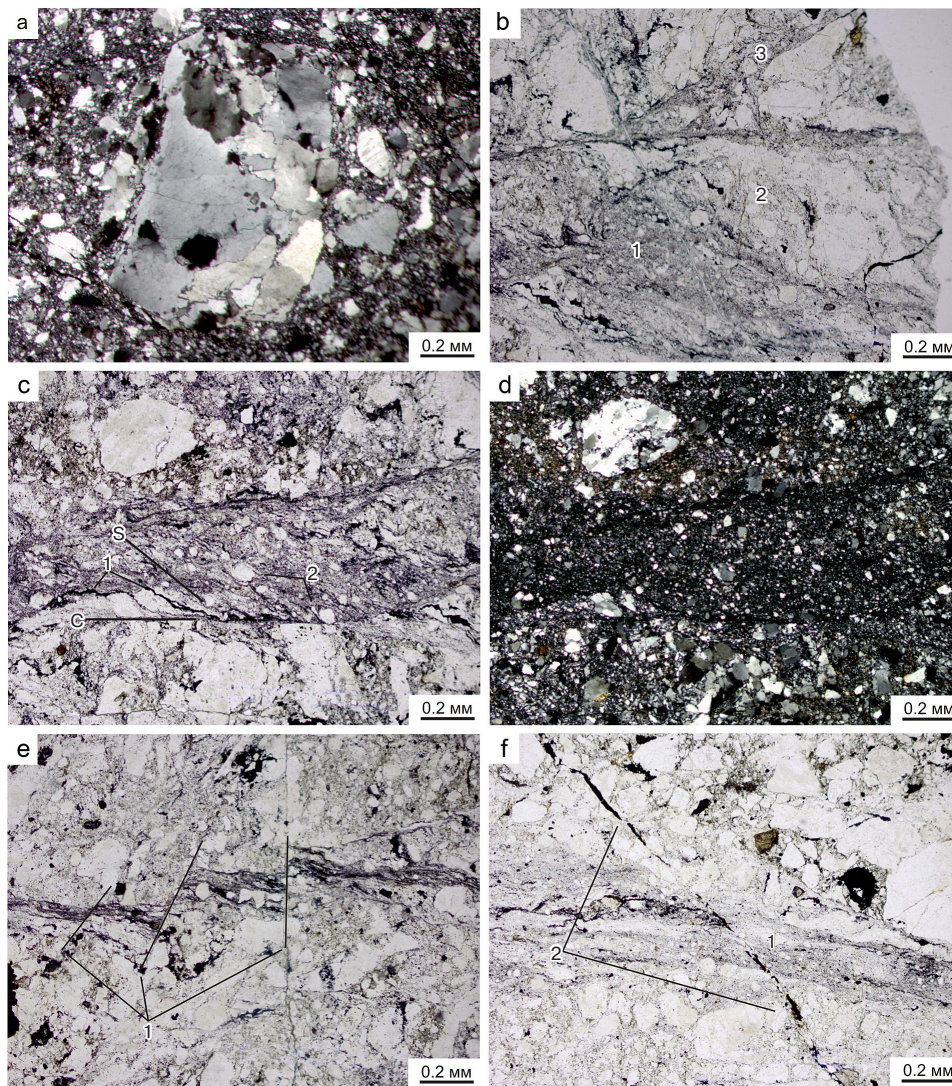


Рис. 3. Микрофотографии текстурно-структурных особенностей породы: а) порфирикласт К-Na-полевого шпата, замещаемого альбитом в матриксе (с анализатором); б) пересечение ранней метапсевдотачилитовой жилки (1) с фрагментом матрикса (2) с поздней жилкой метапсевдотачилита (3) (без анализатора); в) CS-плоскости полосчатости (хрупко-пластичного течения), асимметричные микроскладки (1) и σ -порфирикласты (2) (без анализатора); д) то же (с анализатором); е) серия микросдвигов (1) в метапсевдотачилитовой жилке (без анализатора); ф) метапсевдотачилитовая жилка (1), пересеченная поздней трещиной (2) с рудным веществом (без анализатора)

Fig. 3. Micrographs of textural and structural features of metapseudotachylyte's: а) porphyroblast K-Na feldspar is replaced by albite in the matrix (with analyzer); б) intersection early of the metapseudotachylyte's vein (1) with a fragment of the matrix (2) and with late vein of the metapseudotachylyte (3) (without analyzer); в) CS-planes of foliation (brittle-plastic flow), asymmetric folds (1) and σ -porphyroclasts (2) (without analyzer); д) too (with analyzer); е) a series of microfaults (1) in the metapseudotachylyte's vein (without analyzer); ф) metapseudotachylyte's vein (1) crossed late fracture (2) with ore minerals (without analyzer)

1.10 мас. %); II — ксеноморфными агрегатами с концентрацией MnO до 5.23 мас. %. Кальцит образует ксеноморфные агрегаты (0.05—2 мм), расположенные в межзерновом пространстве рудных минералов, а также тонкие жилки в метапсевдотачилите. Для кальцита характерно повышенное содержание MnO (1.53—1.57 мас.%) и незначительная примесь FeO (0.79—0.88 мас. %), SrO (0.66—0.82 мас. %). Апатит представлен отдельными редкими фрагментами зерен размером 0.01—0.02 мм. Циркон — призматическими трещиноватыми зернами и обломками индивидов (0.05—1 мм), образующими иногда сростания с олигоклазом и ортоклаз-микроклином. В его составе присутствует примесь Hf до 0.02 к. ф. Титанит обнаружен в виде единичных обломков зерен (0.05—1 мм).

Фергусонит-(Y) ($Y_{0.46}Gd_{0.15}Sm_{0.06}Er_{0.04}Dy_{0.04}Ca_{0.04}Nd_{0.04}Ti_{0.04}U_{0.04}Yb_{0.03}Fe^{+2}_{0.02}Th_{0.01}Tb_{0.01}Ho_{0.01})_{0.99}Nb_{1.01}O_{4.00}$ приурочен к скоплениям ксеноморфных зерен ильменита в метапсевдотачилитовых жилках, где наряду с ильменитом присутствует тонкозернистый рекристаллизованный агрегат кварца и полевых шпатов. Сумма РЗЭ в этом минерале достигает 25 мас. %. Минералы ряда *торогуммит—коффинит* образуют ксеноморфные катаклазированные зерна размером 1—30 мкм, которые наряду с рекристаллизованными зернами полевых шпатов, новообразованного альбита и катаклазированных зерен рудных минералов (ильменит, титаномagnetит) формируют хаотично расположенные жилки. Формулы минералов отражают вариативность составов: $(Th_{0.84}U_{0.06}Pb_{0.02})_{0.92}Si_{1.08}O_{4.00} \cdot 4n$ (ОН) — торогуммит, $(Th_{0.53}U_{0.37}Pb_{0.09}Fe^{+2}_{0.04}Ca_{0.04})_{1.07}$



$\text{Si}_{0.93}\text{O}_{4.00} \cdot 4n(\text{OH})$ — коффинит. Содержание воды в них колеблется от 4.34 до 7.12 мас. %. Максимальные концентрации UO_2 — 27.9—29.0 мас. % — соответствуют 36.1 mol % коффинита в торите.

Представительные анализы химических составов основных породообразующих и аксессуарных минералов представлены в табл. 1, 2.

Петрогеохимическая характеристика породы

Химический состав породы (табл. 3) соответствует граниту нормальной щелочности [13]. Вмещающие милонитизированные сиениты соответствуют ряду *монцитит—сиенит—нефелиновый сиенит (миаскит)*

Таблица 1. Химический состав породообразующих минералов из метапсевдотакхилита (мас. % и к. а. ф.)

Table 1. Chemical composition of rocksforming minerals from the metapseudotachylyte (wt. %, f. u.)

№ п/п	Ab		Kfs		Bt		Cal	
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO_2	66.95	65.19	65.23	65.09	39.78	41.20	—	—
TiO_2	—	—	—	—	1.86	1.76	—	—
Al_2O_3	19.91	21.28	18.80	18.81	14.58	15.79	—	—
FeO	0.14	0.14	0.06	0.14	18.21	19.01	0.79	0.88
MnO	—	—	—	—	—	—	1.57	1.53
MgO	—	—	—	0.11	12.83	10.59	—	—
CaO	0.59	2.28	—	0.42	—	—	53.11	53.15
Na_2O	11.51	10.23	3.05	2.93	—	—	—	—
K_2O	0.14	0.18	12.54	11.70	9.01	8.63	—	—
BaO	0.39	0.15	—	—	—	—	—	—
SrO	—	—	—	—	—	—	0.66	0.82
CO_2	—	—	—	—	—	—	43.50	43.40
e	99.24	99.30	100.07	99.35	96.27	96.98	99.64	99.77
Si	2.95	2.89	2.98	3.00	3.01	3.11	—	—
Ti	—	—	—	—	0.11	0.10	—	—
Al	1.03	1.11	1.01	1.02	1.30	1.40	—	—
Fe^{3+}	0.01	0.01	0.00	0.01	1.15	1.20	—	—
Fe^{2+}	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01
Mn	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01
Mg	—	—	—	0.01	1.44	1.19	—	—
Ca	0.03	0.11	—	0.02	—	—	0.58	0.58
Na	0.98	0.88	0.27	0.26	—	—	—	—
K	0.01	0.01	0.73	0.69	0.87	0.83	—	—
BaO	0.01	0.00	—	—	—	—	0.00	0.00
SrO	—	—	—	—	—	—	—	—
CO_2	—	—	—	—	—	—	0.40	0.39
*f	—	—	—	—	0.44	0.50	—	—

Таблица 2. Химический состав аксессуарных минералов из метапсевдотакхилита (мас. % и к. а. ф.)

Table 2. Chemical composition of accessory minerals from the metapseudotachylyte (wt. %, f. u.)

№ п/п	Zrn	Ilm		Frg-(Y)			Cof-Thrh		Thrh
	9	10	11	12	13 (°)	14	15 (a)	16 (b)	17 (c)
SiO_2	31.90	—	—	—	—	—	16.37	16.52	20.35
TiO_2	—	52.18	49.90	1.00	1.18	1.00	—	—	—
FeO	—	—	—	0.28	0.63	0.50	0.86	0.27	—
MnO	—	0.54	5.32	—	—	—	—	—	—
CaO	—	—	—	0.83	0.82	0.84	0.73	0.17	—
ZrO_2	64.54	—	—	—	—	—	—	—	—
HfO_2	2.61	—	—	—	—	—	—	—	—
Nb_2O_5	—	1.07	—	48.23	48.10	48.59	—	—	—
Y_2O_3	—	—	—	18.53	18.68	18.65	—	—	—
Nd_2O_3	—	—	—	2.57	2.36	2.21	—	—	—
Sm_2O_3	—	—	—	3.63	3.54	3.99	—	—	—
Gd_2O_3	—	—	—	9.65	9.11	10.06	—	—	—
Tb_2O_3	—	—	—	0.75	0.36	0.51	—	—	—
Dy_2O_3	—	—	—	3.02	2.73	2.83	—	—	—



	Zrn	Ilm	Frg-(Y)	Cof-Thrh	Thrh
Ho ₂ O ₃	—	—	0.52	0.52	0.49
Er ₂ O ₃	—	—	2.77	3.03	2.89
Yb ₂ O ₃	—	—	2.08	2.80	1.86
PbO	—	—	—	6.10	6.01
ThO ₂	—	—	0.56	0.00	0.80
UO ₂	—	—	3.25	3.57	3.76
e	99.05	99.79	99.44	97.34	97.45
Si	0.99	—	—	—	—
Ti	—	1.01	0.95	0.04	0.04
Fe ³⁺	—	—	—	0.01	0.02
Fe ²⁺	—	0.98	0.93	—	—
Mn	—	0.01	0.11	—	—
Mg	—	—	—	—	—
Ca	—	—	—	0.04	0.04
ZrO ₂	0.98	—	—	—	—
HfO ₂	0.02	—	—	—	—
Nb ₂ O ₅	—	—	—	1.03	1.02
Y ₂ O ₃	—	—	—	0.45	0.46
Nd ₂ O ₃	—	—	—	0.04	0.04
Sm ₂ O ₃	—	—	—	0.06	0.06
Gd ₂ O ₃	—	—	—	0.15	0.14
Tb ₂ O ₃	—	—	—	0.01	0.01
Dy ₂ O ₃	—	—	—	0.05	0.04
Ho ₂ O ₃	—	—	—	0.01	0.01
Er ₂ O ₃	—	—	—	0.04	0.04
Yb ₂ O ₃	—	—	—	0.03	0.04
PbO	—	—	—	—	—
ThO ₂	—	—	—	0.01	0.01
UO ₂	—	—	—	0.03	0.04

Примечание. Ab — альбит; Bt — биотит; Cal — кальцит; Cof — коффинит; Frg-(Y) — фергусонит иттревий; Ilm — ильменит; Kfs — K — Na — полевошпат; Thrh — торогуммит; Zrn — циркон. «—» — не обнаружено. Примеси, мас. % — к. ф. (РЭММА-202, аналитик В. А. Котляров).

Note. Ab — albite; Bt — biotite; Cal — calcite; Cof — coffinite; Frg-(Y) — yttrium fergusonite; Ilm — ilmenite; Kfs — K-Na — fieldspar; Thrh — throgummite; Zrn — zircon. «—» — not determined. Trace elements, wt. % — f. u. (REMMA-202, analyst V. A. Kotlyarov).

Таблица 3. Представительные анализы химического состава метапсевдотахилита (1) и вмещающих апомиаскитовых милонитов (2—5; мас. %, г/т)

Table 3. Representative analyses of chemical composition of metapseudotachylyte (1) and the host rock of mylonitic miaskites (2—5; wt. %, ppm).

	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
SiO ₂	70.34	57.02	55.87	54.43	59.06	Eu	1.51	0.99	0.92	0.87	1.06
TiO ₂	0.35	0.72	0.6	0.65	0.82	Gd	8.34	2.32	2.41	2.27	2.77
Al ₂ O ₃	13.47	22.05	20.88	22.38	19.7	Tb	1.33	0.34	0.38	0.35	0.34
FeO	1.73	1.92	1.92	1.74	1.94	Dy	6.80	1.70	1.81	1.64	1.51
Fe ₂ O ₃	1.54	0.72	1.43	1	1.21	Ho	1.18	0.29	0.30	0.30	0.31
MnO	0.06	0.13	0.1	0.09	0.11	Er	3.15	0.85	0.92	0.94	0.94
MgO	0.33	0.56	0.56	0.42	0.36	Tm	0.45	0.13	0.13	0.12	0.12
CaO	2.48	2	2.69	2.08	1.36	Yb	2.53	0.73	0.82	0.81	0.77
Na ₂ O	6.35	6.68	6.16	6.94	4.96	Lu	0.36	0.10	0.11	0.123	0.10
K ₂ O	0.66	5.18	7.64	7.3	8.85	Be	3.13	0.13	0.79	1.31	1.00
P ₂ O ₅	0.14	0.21	0.21	0.14	0.05	V	25.1	58.2	55.5	55.0	59.5
П.п.п	2.24	2.56	2.16	2.3	1.54	Cr	61.1	11.2	7.80	16.8	6.58
Sum.	99.69	99.75	100.22	99.47	99.96	Co	2.26	2.31	2.17	1.66	6.39
La	88.2	22.6	44.1	38.3	38.2	Ni	55.2	3.97	26.0	5.52	65.0
Ce	166	47.8	89.6	78.9	77.1	Cu	35.7	8.57	18.1	7.84	42.4
Pr	17.5	5.37	8.77	7.96	7.53	Zn	6.20	29.0	54.6	41.2	261
Nd	59.9	20.5	27.5	25.6	21.9	Rb	13.6	70.7	101	85.7	82.9
Sm	9.79	2.96	3.30	2.92	2.78	Ba	167	3180	981	660	832



	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
Sb	1.57	0.33	1.22	0.59	2.68	Sr	655	2310	1442	1189	1240
Hf	2.27	0.45	0.80	0.29	0.22	Y	33.2	8.96	9.56	9.33	8.23
Ta	1.53	7.81	5.92	4.55	3.21	Zr	71.9	14.8	30.9	11.9	10.5
W	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	Nb	55.1	205	130	110	92.7
Pb	12.4	2.02	6.14	4.94	16.6	Mo	8.07	<0.03	<0.03	0.46	2.57
Th	29.3	0.18	2.35	1.92	2.57	Cd	0.43	0.09	0.24	0.08	0.11
U	6.71	2.23	2.11	1.69	1.40	Sn	0.98	0.97	1.38	0.83	4.10

субщелочной и щелочной серий, с вариациями содержания $\Sigma\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 9–14 мас. % и соотношением $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 0.27–1.29. Для состава метасевдотахилитов характерны более высокие содержания кремнезема и меньшие глинозема, чем во вмещающих милонитизированных сиенитах.

Суммарное содержание REE в метасевдотахилите (374 г/т) превышает их концентрацию во вмещающих милонитизированных сиенитах (106–181 г/т) в среднем в два раза. Характер распределения REE в этих породах отражает превалирование концентраций LREE над HREE (рис. 4, а). Фиксируется отрицательная европиевая аномалия ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.51$). Характер распределения мультиэлементов близок к коровому. Однако отмечены повышенные относительно коровых концентрации отдельных высокозарядных элементов (HFSE) — Pb, U, Th, Nb, Y и Ho. На фоне вмещающих милонитизированных миаскитов отражены повышенные концентрации HFSE — Sc, U,

Th, Zr, Hf, Y, Pb и транзитных элементов — Cr, Ni, Cu, фиксируются низкие содержания LILE — Ba, Sr, Rb, а также Ta, Nb (HFSE) и V (рис. 4, б). Соотношение Zr/Hf в метасевдотахилите — 31, а во вмещающих милонитизированных миаскитах варьирует от 30 до 50. Соотношение Th/U (4.4) выше, чем во вмещающих породах (0.1–1.8).

Обсуждение результатов

Текстурно-структурные особенности исследуемой породы (наличие микроразрывных нарушений в виде метасевдотахилитовых жил и их апофизов, имеющих резкую границу с вмещающей породой; «пылеватых» мелкофрагментированных остатков рудных минералов в жилах; тонкокристаллического перекристаллизованного (метаафанитового) материала, образующего разрывные жилки) указывают на тектоническую трансформацию породы при экстремальных хрупких и мгновенных деформациях, в результате ее дробления и фрикционного плавления в зоне разлома [3, 22], что позволяет классифицировать породу как метасевдотахилит, образованный по породе гранитоидного состава. Петрографическое исследование породы выявило два типа метасевдотахилитов: 1) крупные по мощности жилки с CS-плоскостями милонита и σ -типом порфиороклатов, которые соответствуют милонитизированным метасевдотахилитам [19]; 2) небольшие по мощности жилки с линейной полосчатостью (С-плоскостями), соответствующие метасевдотахилитам, которые, в свою очередь, секут милонитизированные метасевдотахилиты, что указывает на их более позднее происхождение.

В условиях сдвиговых деформаций под влиянием флюида [20] в метасевдотахилитах [19], как и в милонитах [10, 21], может происходить перераспределение элементов-примесей, как LILE (Rb, Ba, Sr и др.), так и HFSE (Th, U и др.), влекущее образование редкометалльной акцессорной минерализации с высокими содержаниями перераспределенных элементов (фергусонит-(Y), ильменит, торогуммит-коффинит) и концентрацией их в ослабленных микроразрывах — метасевдотахилитовых жилах, при формировании индуцированного микрорасплава. Близкие параметры коэффициента Zr/Hf во вмещающих милонитизированных миаскитах и метасевдотахилите свидетельствуют о единстве процесса преобразования пород, протекающего под влиянием флюида, обеспечивающего массоперенос, в том числе и HFSE [17].

Существенное отличие в соотношении Th/U в метасевдотахилите и вмещающих породах, а также соотношения таких петрогенных компонентов, как SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , позволяют предположить, что

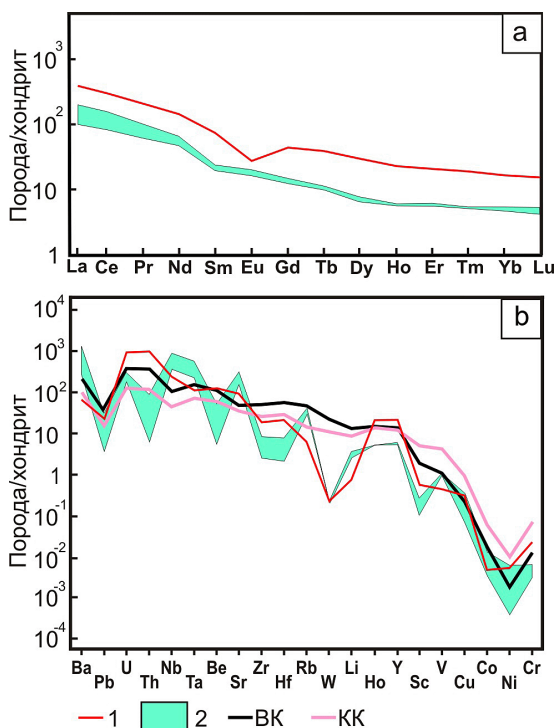


Рис. 4. Диаграммы распределения редкоземельных (а) и редких (б) элементов. Условные обозначения: 1 — метасевдотахилит; 2 — вмещающие апомиаскитовые милониты; BK — верхняя кора; KK — континентальная кора

Fig. 4. Diagrams of distribution REE (a) and TE (b). Legend: 1 — metasevdotachylyte; 2 — host-rocks apomiaskite mylonite; BK — upper crust; KK — continental crust



основным материалом для образования метапсевдотахилита могло быть тело альбитита. С альбититами часто связана U-Th-минерализация (тороугмит-коффинит). В породах ИВПК формирование тел альбититов происходило под влиянием флюида на постколлизийном этапе становления комплекса в связи с формированием региональной сдвиговой зоны. Синтектоническая альбитизация в изученной породе протекала в условиях хрупко-пластичных деформаций милонитового горизонта [19], а затем, при дальнейшей эксгумации, в зоне хрупких деформаций и катаклазе пород, сопровождающемся образованием псевдотахилитовых жил. В строении этих метапсевдотахилитовых тел фиксируются как хрупкие (образование трещин разрыва), так пластичные (милонитовая структура, образованная CS -плоскостями сдвига, ассиметричные складки, σ -тип порфиорокlastов) деформации [19], связанные с мгновенным стрессом в сейсмогенной зоне.

Эпитаксиальное срастание фергусонита с ильменитом-П, который характеризуется высоким содержанием Mn и отсутствием примесей Nb, что характерно для состава поздних ильменитов, связанных с метасоматически измененными (альбитизированными) апомиаскитовыми и апосиенитовыми милонитами ИВПК [12], также указывает на процесс синтектонической альбитизации.

Выводы

Впервые среди пород ИВПК обнаружена порода метапсевдотахилит, являющаяся продуктом частичного плавления за счет трения в диапазоне температур 1200–1450 °C [14] на различных глубинах в интервале от 1 до 40 км [16].

Тектурно-структурные особенности показали наличие двух типов метапсевдотахилитовых жил: ранних милонитизированных метапсевдотахилитов и поздних метапсевдотахилитов.

Минералого-геохимические особенности породы свидетельствуют о широком влиянии глубинного флюида, способствующего массопереносу вещества как крупноионных литофильных элементов (LILE), так и высокозарядных (HFSE).

Литература

1. Ворожук Д. В. Полевые шпаты гранитоидных бластомилонитов: микроструктурные особенности и вариации химического состава // Ежегодник-2000. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 102–110.
2. Заварицкий А. Н. Геологический и петрографический очерк Ильменского минералогического заповедника и его копей. М.: Главн. упр. по заповедн., 1939. 196 с.
3. Кирмасов А. Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с.
4. Кошевой Ю. Н. История формирования и структурная эволюция Ильменского комплекса: Рукопись. Фонды ИГЗ. 1985. 313 с.
5. Левин В. Я. Щелочная провинция Ильменских-Вишневых гор. М.: Наука, 1974. 221 с.
6. Левин В. Я., Роненсон Б. М., Самков В. С., Левина И. А., Сергеев Н. С., Киселёв И. П. Щелочно-карбонатные комплексы Урала. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 244 с.
7. Левицкий В. И. Петрология и геохимия метасоматоза при формировании континентальной коры // Новосибирск: Гео, 2005. 340 с.
8. Ленных В. И., Вализер П. М. К геологической схеме Ильменского комплекса // Геология и минералогия Ильменского комплекса: ситуация и проблемы. Миасс: ИГЗ УрО РАН, 2006. С. 20–27.
9. Медведева Е. В., Немов А. Б., Котляров А. В. Милонитизированные породы Ильменского комплекса (Ю. Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2013. № 11. С. 7–10.
10. Медведева Е. В., Немов А. Б., Котляров А. В. Новые данные о милоните основного состава из Ильменского миаскитового массива (Южный Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 16–24.
11. Немов А. Б. Структурно-текстурные особенности миаскитовых милонитов Ильменского массива (Южный Урал) // геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геолог. съезда Респ. Коми, Сыктывкар, 15–17 апр. 2014 г. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. Т. 2. С. 116–119.
12. Немов А. Б. Манганоильменит и пиропанит из сиенитов Ильмено-вишневогорского щелочного комплекса (Южный Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. № 5. С. 14–19.
13. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.
14. Родыгин А. И. Динамометаморфические горные породы. Томск: Изд-во Томского унта. 2001. 356 с.
15. Русин А. И., Краснобаев А. А., Русин И. А., Вализер П. М., Медведева Е. В. Щелочно-ультраосновная ассоциация Ильменских-Вишневых гор // Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород: Материалы всерос. совещания. Миасс: ИМин УрО РАН. 2006. С. 222–227.
16. Скляров Е. В., Гладкочуб Д. П., Донская Т. В., Мазукабзов А. М., Сизых А. И., Буланов В. А. Метаморфизм и тектоника: Учеб. пособие для вузов. М.: Интернет-Инжиниринг, 2001. 216 с.
17. Шикина Н. Д., Тагиров Б. Р., Волченкова В. А., Бычкова Я. В. Zr/Hf-отношение в сверхкритических хлоридных флюидах: экспериментальное изучение комплексобразования циркония и гафния при 450 °C, 0.6–1 кбар // Петрология. 2015. Т. 23. № 1. С. 101–110.
18. Юрецкий В. Н., Петров В. И., Кузнецов Г. П., Левин В. Я., Пунегов Б. Н. и др. Отчет Ильменского геологосъемочного отряда о результатах геологического доизучения масштаба 1 : 50000 Ильменской площади. Челябинск: ПГО «Уралгеология», ЧГРЭ, 1982.
19. Allen J. L., Shaw C. A. Seismogenic structure of a crystalline thrust fault: Fabric anisotropy and coeval pseudotachylite-mylonitic pseudotachylite in the Grizzly Creek shear zone, Colorado // Geological Society, London, Special Publications. 2011. V. 359. No. 1. pp. 135–151.
20. Hetzel R., Glodny J. A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance // international Journal of Earth Sciences. 2002. V. 91, No. 2. pp. 231–254.
21. O'Hara K., Blackburn W. H. Volume-loss model for trace-element enrichments in mylonites // Geology. 1989. V. 17. No. 6. pp. 524–527.
22. Spray J. G. Pseudotachylite controversy: Fact or friction? // Geology. 1995. T. 23. № 12. С. 1119–1122.
23. Trouw R. A. J., Passchier C. W., Wiersma D. J. Atlas mylonites and related microstructures. Springer, 2010. 322 pp.



References

- Voroschuk D. V. *Polevye shpaty granitoidnykh blastomilonitov: mikrostrukturnye osobennosti i variatsii khimicheskogo sostava* (Feldspars of granitoid blastomylonites: microstructural features and variations of chemical composition). *Ezhгодnik-2000*. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 2001, pp. 102–110.
- Zavaritskiy A. N. *Geologicheskii i petrograficheskii ocherk Il'menskogo mineralogicheskogo zapovednika i ego kopey* (Geological and petrographic sketch of the Ilmensky Mineralogical Reserve and its mines). Moscow: Main Directorate for Reserves, 1939, 196 pp.
- Kirmasov, A. B. *Osnovy strukturnogo analiza* (Basis of structural analysis). Moscow: World of Science, 2011, 346 pp.
- Koshevoy Yu. N. *Istoriya formirovaniya i strukturnaya evolyutsiya il'menogorskogo kompleksa* (History of formation and structural evolution of Ilmenogorsky complex). Manuscript. Miass: Ilmenskiy gosudarstvenniy Zapovednic Akademii nauk SSSR, 1985. 313 p.
- Levin V. Ya. *Shelochnaya provintsiya Il'menskikh-Vishnevskikh gor* (Alkaline province of Ilmen-Vishnevaya mountains). Moscow: Nauka, 1974, 221 p.
- Levin V. Ya., Ronenson B. M., Samkov V. S., Levina I. A., Sergeev N. S., Kiselev I. P. *Shchelochno-karbonatitovye komplekсы Urala* (Alkaline-carbonatite complexes of the Urals). Ekaterinburg: Uralgeolkom, 1997, 244 pp.
- Levitskiy V. I. *Petrologiya i geokhimiya metasomatoza pri formirovanii kontinental'noy kory* (Petrology and geochemistry of metasomatism in the formation of the continental crust). Novosibirsk: Geo, 2005, 340 pp.
- Lennyh V. I., Valizer P. M. *K geologicheskoy skheme Il'menogorskogo kompleksa* (To the geological scheme of Ilmenogorsk complex). *Geologiya i mineralogiya Il'menogorskogo kompleksa: situatsiya i problemy*. Miass: IGZ UB RAS, 2006, pp. 20–27.
- Medvedeva E. V., Nemov A. B., Kotlyarov A. V. *Milonitizirovannye porody il'menogorskogo kompleksa (Yu. Ural)*. (Mylonized rocks of the Ilmenogorsky complex (Yu. Ural)). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, Syktyvkar, 2013, No. 11, pp. 7–10.
- Medvedeva E. V., Nemov A. B., Kotlyarov A. V. *Novye dannye o milonite osnovnogo sostava iz Il'menogorskogo miaskitovogo massiva (Yuzhnyy Ural)* (New data about mafic mylonite from Ilmenogorsky miaskite massive (South Urals)). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, Syktyvkar, 2018. No. 6. pp. 16–24.
- Nemov A. B. *Strukturno-teksturnye osobennosti miaskitovykh milonitov Il'menogorskogo massiva (YUzhnyy Ural)* (Structural-textural features of mylonites Ilmenogorsky miaskite massif (South Urals)). *Geologiya i mineral'nye resursy Evropejskogo severo-Vostoka Rossii: materialy XVI. Geolog. s'ezda resp. Komi*, Syktyvkar, 15–17 apr. 2014 g. Syktyvkar, IG Komi SC UB RAS, 2014, V. 2, pp. 116–119.
- Nemov A. B. *Manganoil'menit i pirofanit iz sienitov il'meno-vishnevogorskogo shelochnogo kompleksa (Yuzhnyy Ural)* (Manganoilminite and Pyrophanite from syenites of Ilmeno-Vishnevogorsky alkaline complex (South Urals)). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, Syktyvkar, 2017. No. 5. pp. 14–19.
- Petrograficheskii kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* (Petrographic codex of Russian. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formation). Saint Petersburg: 2008, VSEGEI, 200 p.
- Rodygin A. I. *Dinamometamorficheskie gornye porody* (Dynamometamorphic rocks) // Tomsk: Tomsk University, 2001, 356 p.
- Rusin A. I., Krasnobaev A. A., Rusin I. A., Valizer P. M., Medvedeva E. V. *Shchelochno-ul'traosnovnaya associatsiya Il'menskikh-Vishnevskikh gor* (Alkaline-ultrabasic association of the Ilmen-Vishnevsky mountains). *Proceedings of conference Geochemistry, petrology, mineralogy and genesis of alkaline rocks*. Miass: IM UB RAS, 2006, pp. 222–227.
- Sklyarov E. V., Gladkochub D. P., Donskaya T. V., Mazukabzov A. M., Silykh A. I., Bulanov V. A. *Metamorfizm i tektonika* (Metamorphism and tectonics). Textbook. Moscow: Intermet-Inzhiniring, 2001, 216 p.
- Shikina N. D., Tagirov B. R., Volchenkova V. A., Bychkova Ya. V. *Zr/Hf otnoshenie v sverkhkriticheskikh khlordnykh flyuidakh: eksperimental'noe izuchenie kompleksobrazovaniya tsirkoniya i gafniya pri 450 °C, 0.6–1 kbar* (Zr/Hf ratio in supercritical chloride fluids: an experimental study of the complexation of zirconium and hafnium at 450 °C, 0.6–1 KBar). *Petrology*, 2015, V. 23, No. 1, pp. 101–110.
- Yuretskiy V. N., Petrov V. I., Kuznetsov G. P., Levin V. Ya., Punegov B. N. i dr. *Otchet il'menogorskogo geologos'emchnogo otryada o rezul'tatakh geologicheskogo doizucheniya masshtaba 1:50000 Il'menogorskoj ploschadi* (Report of ilmenogorsky geological survey group on the results of geological additional study of the scale of 1:50000 Ilmenogorsk area.). PGO «Uralgeologiya», CHGRE, 1982.
- Allen J. L., Shaw C. A. Seismogenic structure of a crystalline thrust fault: Fabric anisotropy and coeval pseudotachylite–mylonitic pseudotachylite in the Grizzly Creek shear zone, Colorado. *Geological Society, London, Special Publications*, 2011, V. 359, No. 1, pp. 135–151.
- Hetzel R., Glodny J. A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance. *International Journal of Earth Sciences*, 2002, V. 91, No. 2, pp. 231–254.
- O'Hara K., Blackburn W. H. Volume-loss model for trace-element enrichments in mylonites. *Geology*. 1989, V. 17, No. 6, pp. 524–527.
- Spray J. G. *Geology*, 1995, V. 23, No. 12, pp. 1119–1122.
- Trouw R. A. J., Passchier C. W., Wiersma D. J. *Atlas mylonites and related microstructures*. Springer, 2010, 322 pp.



АКСЕЛЕРОГРАММЫ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ СЫКТЫВКАРА

В. А. Лютоев

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

VALutoev@geo.komisc.ru

Несмотря на относительно слабую сейсмичность территории Республики Коми, южная ее часть, включая Сыктывкар, на карте общего сейсмического районирования (ОСР-97 С) отнесена к шестибалльной сейсмической зоне. Исторически известно, что в 1939 г. в зоне сочленения Сясьского свода и Кировско-Кажимского авлакогена произошло семибалльное землетрясение, получившее название Сясьского. Это дает нам право утверждать, что и в будущем возможно повторение подобного сейсмического события. Наибольшее число землетрясений произошло в Кировско-Кажимской сейсмогенной зоне, что подтверждается инструментальными записями сейсмограмм. Важным моментом является то, что в пределах Сыктывкара находится крупное промышленное лесохимическое предприятие, которое по статусу экологической опасности относится к особо ответственным объектам (ООО). Поэтому обеспечение безопасности функционирования данного предприятия обязывает проводить детальное сейсмическое районирование (ДСР) и микросейсмическое районирование (СМР), по результатам которых можно определить параметры предельно допустимого сейсмического воздействия на подстилающие грунты геологического разреза. В соответствии с этим мы придерживались следующего алгоритма решения поставленных задач:

- проводилась двухуровневая оценка сейсмических воздействий максимального расчетного землетрясения (МРЗ), при котором возможно превышение расчетной сейсмической опасности 0.5 % в течение 50 лет, и проектного землетрясения (ПЗ), где вероятность превышения расчетной сейсмической опасности может достичь 1 % в течение 50 лет (масштаб 1 : 2 500 000 — 1 : 1 000 000);

- определялась совокупность вероятностных сейсмических воздействий на важнейшие промышленные объекты (масштаб 1 : 500 000 — 1 : 200 000);

- проводилась количественная оценка влияния инженерно-геологических условий на исходную сейсмичность (масштаб 1 : 25 000 — 1 : 5 000).

Таким образом, основная цель данной работы — получение исходных параметров, соответствующих сильным движениям грунтов при наиболее неблагоприятных условиях, когда скальные грунты перекрыты мощными четвертичными отложениями: II и III (IV) категориями грунтов.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмодинамическое воздействие, категория грунтов, пиковое ускорение, дилатанция, упругое состояние, спектры реакции, акселерограмма, районирование.

BASIS OF SEISMIC MICROFOUNDATION FOR SYKTYVKAR

V. A. Lytoev

¹Institute of Geology Komi SC UD RAS, Syktyvkar

Despite the relatively weak seismicity of the Komi Republic, its southern part, including Syktyvkar, is referred to a six-point seismic zone on a map of general seismic zoning (GSZ-97 C). It is historically known that in 1939 a seven-point earthquake occurred in the junction zone of the Sysolsky arch and the Kirov-Kazhim aulakogen, which was called the Sysolsky earthquake. This gives us the right to assert that in the future a similar seismic event can be repeated. The greatest number of earthquakes occurred in the Kirov-Kazhim seismogenic zone, which is confirmed by instrumental records of seismograms. An important point is that within the city of Syktyvkar there is a large industrial wood chemical plant, which, according to the status of environmental hazard, belongs to the most critical objects (EIO). Therefore, ensuring the safety of the operation of this enterprise requires detailed seismic zoning (DSZ) and microseismic zoning (SMZ), which can determine the parameters of the ultimate seismic effect on the underlying geological section. In accordance with this, we adhered to the following algorithm for solving the problems posed:

- a two-level assessment of the seismic effects of the maximum estimated earthquake (MEE), which may exceed the estimated seismic hazard of 0.5 % for 50 years and a projected earthquake (DE), where the probability of exceeding the estimated seismic hazard can reach 1 % for 50 years (scale 1 : 2 500 000 — 1 : 1 000 000);

- the set of probabilistic expected seismic impacts on the most important national economic objects was determined (scale 1 : 500 000 — 1 : 200 000);

- Quantitative assessment of the effect of engineering-geological conditions on the initial seismicity was carried out (scale 1 : 25 000 — 1 : 5 000).

Thus, the main goal of this work is to obtain initial parameters corresponding to strong soil motions for the most unfavorable conditions, when rocky soils are covered by thick Quaternary deposits of the second and third (fourth) soil categories.

Keywords: earthquake, seismodynamic impact, soil category, peak acceleration, dilatancy, elastic state, reaction spectra, accelerogram, zoning.

Введение

В тектоническом плане Сыктывкар расположен на окраине Сясьского свода, с севера граничит с Вычегодским прогибом, с востока — с Кировско-Кажимским авлакогеном. В зоне сочленения этих геологических структур повсеместно распространены мощные рыхлые отложения. Исторические све-

дения о произошедших здесь землетрясениях до недавнего времени были весьма скудными. С открытием сейсмической станции «Сыктывкар» в 1997 г. резко изменилась общая сейсмическая картина Республики Коми. Станция ежедневно регистрировала удаленные землетрясения и местные микросейсмические события, не всегда ясного происхож-



дения. Раз в два-три года фиксировала близкие землетрясения и один раз в несколько лет — местные сейсмические толчки.

За последние полтора десятка лет в нашей стране существенно изменились требования к проведению сейсмического микрорайонирования: если раньше учитывалось приращение балльности в десятиметровой грунтовой толще, то в настоящее время эта глубина увеличена до тридцати метров. Для особо ответственных объектов, независимо от мощности рыхлых отложений, требуется проводить расчеты уже до глубин скальных горизонтов [12]. Следует обратить внимание, что специалисты «большой» и инженерной сейсмологии дают различные оценки сейсמודинамическим процессам. Первые рассматривают этот процесс с точки зрения упругих деформаций, вторые — с позиции разрушения горных пород [4]. Таким образом, эти два подхода, отличающиеся между собой способом описания энергетических уровней колебаний в условиях количественно-качественных изменений акустического состояния среды, представить одной сейсмической моделью вряд ли возможно. Когда целостность горных пород под воздействием сейсмической волны от землетрясения не нарушается, задача определения приращения балльности при микросейсмическом районировании вполне решается с помощью общепринятых уравнений инженерной сейсмологии.

Для определения интервала резонансных частот в грунтовых толщах на начальном этапе был зарегистрирован общий фон микросейсм. Далее с помощью импульсного источника возбуждения были инициированы в них сейсмические колебания с последующей регистрацией их амплитудно-частотных составляющих. В результате амплитуда спектра реакции этих грунтов на определенных участках частот резко возрастала по отношению к фоновому. Вместе с тем были выполнены опытные работы по выяснению декрементов затухания в различных грунтах. При этом было замечено, что с увеличением расстояния резонансная частота снижается, что говорит опосредованном затухании высокочастотных колебаний. Однако одновременно с этим проникающая способность уже более низкочастотных волн усиливается, а способность к отражению уменьшается. В горизонтально-слоистых разрезах с коэффициентом Пуассона, близким к 0.5, волны Рэлея могут рассеиваться и образовывать дополнительные вертикально направленные Р- и SV-волны [10], которые могут участвовать в формировании резонанса в верхней части разреза рыхлых отложений, воздействуя большей амплитудой колебания снизу на дневную поверхность, усиливая общую величину приращения балльности на грунтах основания фундамента.

Аппаратурное обеспечение

Аппаратурное обеспечение для сейсмических исследований включает:

1. Цифровую сейсмическую станцию SDAS. Она позволяет регистрировать местные и близкие землетрясения. Состоит из блока сбора и сейсмического канала с привязкой точного времени по GPS; сейсмические события фиксируются сейсмометрами СМЗ-

КВЭ, ориентированными по направлениям (N-S, E-W, Z), диапазон частот — 0.5—40 Гц.

2. Инженерную цифровую сейсмическую станцию Zet 048-с в скважинном исполнении. Она предназначена для получения акселерограмм и спектрограмм, позволяет осуществлять привязку к местности по GPS, проводить без демонтажа поверку сейсμοприемника ВС-1313, встроенного в станцию с трехосной измерительной системой (X, Y, Z), диапазон частот — 0.3—400 Гц.

3. Низкочастотную компьютеризированную электроразведочную станцию «Электротест-С/USB». Она предназначена для получения геоэлектрического разреза, способна работать в условиях промышленных помех и сложных заземлений.

Сейсмологические и сеймотектонические сведения

Ввиду того, что сейсмическая станция в Сыктывкаре была запущена сравнительно недавно (1996 г.), график повторяемости местных сейсмических событий как рассеянной, так и сосредоточенной сейсмичности слабоинформативен. Однако с использованием этих статистических данных и моделей зон ВОЗ ОСР-97 (А, В, С, D) был рассчитан график повторяемости землетрясений $I = f(T)$ (рис. 1), который, по нашему мнению, допустим для района исследований. Полученное уравнение выглядит следующим образом: $I (\text{балл}) = 1.3 \lg T + 2.3 \pm 0.2$, где T — временной период землетрясений в годах.

Энергетические величины — магнитуа и класс землетрясения — не являются полностью независимыми и связаны между собой корреляционными соотношениями. Чаще всего используется следующая эмпирическая зависимость [7]:

$K = 4 + 1.8M_L$, где K — энергетический класс, M_L — локальная магнитуа землетрясения:

1) при $M_L = 4.7$, $K = 12.46$ — энергетический класс детерминистского землетрясения,

2) при $M_L = 4.2$, $K = 11.56$ — энергетический класс максимального проектного землетрясения.

Границами Кировско-Кажимского авлакогена являются крупноамплитудные разрывные нарушения, проникающие в глубокие слои земной коры. Здесь отмечается повышенная плотность разломной сети, которая представляет собой систему ступенчатых сбросов, местами осложненных сдвигами. Максимальная ширина плейстосейстовых зон определена из расчетов, проведенных по данным семибалльного Сысольского землетрясения [2, 16]. В границах Республики Коми протяженность этой сейсмогенной зоны достигает 280 км, ширина — 25 км в семибалльной плейстосейстовой области, а вместе с шестибалльной зоной может достигать до 70 км. Внутри этой зоны в настоящее время известны эпицентры землетрясений: $M_s = 4.7$, 1939 г.; $M_s = 2.6$, 2002 г.; $M_s = 3.3$, 2004 г.; $M_s = 3.3$, 2008 г.; $M_s = 2.8$, 2011 г. [8, 11].

Для выяснения степени активности разлома в современное время, когда разломы перекрыты мощными четвертичными отложениями, были опробованы сейсмические измерения амплитудно-частотных составляющих спектральной плотности ($\text{м/с}^2/\text{с}$) и спектральной мощности ($\text{м/с}^2/\text{Гц}^{1/2}$) с привлечением дан-



ных объемной концентрации радона в зоне разломов. В результате измерений было выявлено, что в разломной зоне по отношению к неразломной наблюдается заметное увеличение тренда амплитудного уровня микросейсм в высокочастотной области спектра колебаний с одновременным существенным повышением ЭРОА радона-222 (Бк/м^3) по отношению к фоновым значениям. Местоположения самих разломов были определены еще ранее сейсморазведочными и аэросъемочными работами и вынесены на структурно-тектоническую карту фундамента Тимано-Североуральского региона и прилегающих районов Русской плиты [5]. Глубины очагов землетрясений, по инструментальным данным, варьируют от 10 до 14 км. При определении прочностных характеристик в сейсмоструктурных этажах были получены вероятные глубины инициации ВОЗ для Волго-Уральской антеклизы: Сысольский свод — 13 и 27 км, Кировско-Кажимский авлакоген — 14 и 28 км [9].

Для уточнения исходной сейсмичности Сыктывкара были выбраны ближайшие активные разрывы, способные генерировать максимальную силу сотрясений в разломах Кировско-Кажимского авлакогена с кинематикой развития очага — сбросом. Ближе всего к городу находится его левое ответвление — 6—7 км. По сейсмологическим и сеймотектоническим данным эта зона способна инициировать землетрясение магнитудой 4.7 единиц с глубиной очага — 10—14 км (расчеты выполнены для него).

Инженерно-геологические и сейсмические свойства грунтов

Четвертичные отложения Сыктывкара залегают на триасе и юре, причем основная часть — на породах нижнего триаса и только к востоку и юго-востоку — на породах средней и верхней юры. В их составе выделены неоплейстоценовые и голоценовые отложения. В разрезе неоплейстоцена прослеживаются два ледниковых горизонта: вычегодский и печорский, отличающиеся положением в разрезе и инженерно-геологическими показателями. Верхняя часть неоплейстоцена сложена аллювиальными (озерно-аллювиальными) отложениями II и III надпойменных террас рек Вычегоды и Сысолы. Разрез голоцена представлен аллювиальными отложениями пойм и первых надпойменных террас рек, отложениями долин мелких водотоков и болот. Сложены четвертичные отложения суглинками и глинами с обводненными прослоями супесей и песков, встречаются включения гальки различных пород. Мощность четвертичных отложений варьирует от 20 до 80 и более метров [1]. Проявление сейсмической интенсивности зависит от сейсмических свойств грунтов, в связи с чем подразделяем их по категориям:

I категория — пермские и юрские отложения: глины и алевролиты, песчаники и аргиллиты. Интенсивность уменьшается на 1 балл;

II категория — четвертичные отложения: пески гравелистые крупные и средние; плотные пылеватые глинистые грунты с показателем консистенции $I \leq 0.2$ и коэффициентом пористости $K_p < 0.9$; глины и суглинки с коэффициентом $K_p < 0.7$, супеси сцементированные. Интенсивность не меняется;

III категория — четвертичные отложения: пески рыхлые маловлажные, влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем консистенции $I > 0.5$; глинистые грунты с показателем консистенции $I \leq 0.5$ при коэффициенте пористости $K_p \geq 0.9$ для глин и суглинков и $K_p \geq 0.7$, для супесей. Интенсивность увеличивается на 1 балл.

IV категория — «слабые грунты»: пески рыхлые, склонные к разжижению, пльвуны, мягкопластичные глины, биогенные грунты, илы. Интенсивность устанавливается по результатам специальных исследований.

Оценка резонансных свойств грунтов на основе СМР

Электроразведочным методом ВЭЗ были определены геоэлектрические параметры грунтовых толщ. Параметрические скважины позволили наполнить их литологическим содержанием и определить водонасыщенные горизонты. Скальные грунты (песчаники, сланцы) изучались на карьерах в местах их выхода.

Для инициирования поперечных волн в рыхлых грунтах использовался груз массой 32 кг, падающий с высоты 1.5 м и несущий с собой энергию удара 339 Дж. Удар наносился по доске, забитой в землю под углом 45° на глубину 0.5 м по отношению к земной поверхности. Для скальных грунтов выбирались площадки, которые позволяли наносить удары сбоку. При этом возбуждались поперечные волны типа SH с поляризацией, перпендикулярной плоскости профиля, благодаря чему интенсивность поверхностных волн Рэлея оказалась гораздо ниже, чем при вертикальных ударах. Так как скорости распространения поперечных волн в 1,7 раза меньше скорости продольных волн, то поперечные волны от одних и тех же сейсмических границ приходят чуть позже, чем продольные волны. Таким образом, в рамках исследований СМР импульсным способом возбуждения сейсмических колебаний для различных грунтов были получены массивы акселерограмм и спектров реакции, часть из которых приведена здесь [рис. 1, а—д и таблица].

Испытания в однородных грунтах при равной силе ударного воздействия показали следующее:

— в песчаниках фиксировались относительно высокие частоты — 4—6 Гц. Пиковая амплитуда спектра ускорения поперечных волн достигала 0.004709 м/с^2 на частоте 4.55 Гц (период 0.22 с), спад сотрясений до фонового уровня — 0.35 с, что говорит о высокой добротности скального грунта;

— в суглинках фиксировались относительно низкие частоты — 0.7—0.93 Гц. Пиковая амплитуда спектра ускорения поперечных волн достигала 0.014702 м/с^2 на частоте 0.75 Гц (период 1.3 с), спад сотрясений до фонового уровня — 0.65 с, что говорит о низкой добротности пластичного грунта;

— в песках по отношению к песчаникам фиксировались средние частоты — 0.81—1.32 Гц. Пиковая амплитуда спектра ускорения поперечных волн достигала 0.0192 м/с^2 на частоте 1.32 Гц (период 0.76 с), спад сотрясений до фонового уровня — 0.55 с, что говорит о средней добротности зернистого грунта;

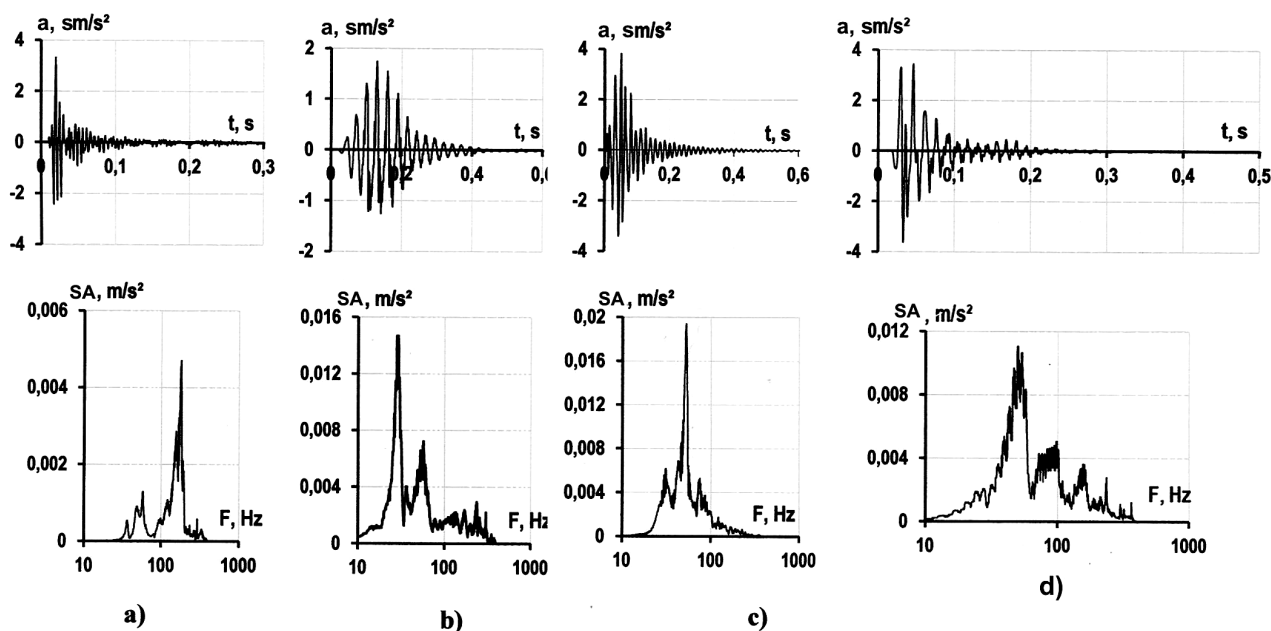


Рис. 1. Сравнение акселерограмм и спектров реакции в условиях равной силы возбуждения для S-волн: а) скальный грунт, б) пластичный грунт, в) зернистый грунт, г) многослойный грунт

Fig. 1. Comparison of accelerograms and reaction spectra under conditions of equal excitation force for S-waves: a) rocky soil, b) plastic soil, c) granular soil, d) multilayer soil

Примечание: здесь приведены акселерограммы и спектрограммы только для S-волн, Р-волны при данной магнитуде землетрясения существенно уступают в плане разрушений.

Резонансные частоты в однородном разрезе $M \geq 30$ м (скальный, пластичный, зернистый) и диапазон частот в разнородном многослойном разрезе

Resonance frequencies in a homogeneous section section $M \geq 30$ m (rocky, ductile, granular) and frequency range in a heterogeneous multilayered section

Энергия удара 480 J / Impact energy 480 J					
I. Однослойный разрез ≤ 30 м (выборка из 6 точек наблюдений) Single layer section ≤ 30 m (sampling from 6 observation points)					
№ п/п	Литология / Lithology	F_{0a} , Hz	F_{0s} , Hz	T_{0s} , s	PGA, m/s ²
1	Песчаник I кат. / Sandstone I cat.	181—217	4.6—5.5	0.22—0.18	0.0039—0.0052
2	Суглинок II кат. / Clay loam II cat.	28.1—36.7	0.7—0.93	1.4—1.1	0.0124—0.0168
3	Песок III кат. / Sand III cat.	31.8—52.2	0.8—1.32	1.2—0.76	0.0134—0.0252
II. Многослойный разрез ≤ 30 м (выборка из 12 точек наблюдений) Multilayer section ≤ 30 m (sampling from 12 observation points)					
4	Преобл. грунты II кат. / Dominated soils II cat.	22.0—65.0	0.48—1.8	2.1—0.69	0.0117—0.0296
5	Преобл. грунты III кат. / Dominated soils III cat.	28.3—99.6	0.72—2.6	1.4—0.38	0.00323—0.008

Примечание: F_{0a} — резонансная частота грунта по амплитуде ускорения S-волны; F_{0s} — резонансная частота грунта по амплитуде смещения S-волны; T_{0s} — преобладающий период колебаний грунта по амплитуде смещения S-волны, PGA — пиковое ускорение грунта.

Note: F_{0a} — is the resonance frequency of the soil in terms of the amplitude of the acceleration S of the wave; F_{0s} — is the resonance frequency of the ground in amplitude with respect to the amplitude of the displacement S of the wave; T_{0s} is the predominant period of soil oscillations in the amplitude of the displacement S of the wave, PGA is the peak acceleration of the soil.

— в многослойных разрезах частотные составляющие сейсмических колебаний имели следующие трендовые изменения: если разрезы представлялись в средневзвешенном исчислении с более высокой добротностью, то периоды колебаний такого рода грунтов уменьшались, в менее плотных — увеличивались, а их амплитуды вели себя в обратной зависимости;

— грунты с более низкой добротностью имели большую ширину спектра колебаний, с высокой — меньшую, их амплитуды также вели себя в обратной зависимости;

— глубина грунтовых вод существенно влияла на амплитуду регистрируемого спектра: при близком их стоянии к дневной поверхности амплитуда колебаний существенно возрастала.

В целом ударно-динамические испытания грунтов показали, что в грунтах первой, в меньшей степени второй категории лучшим образом могут сохраняться первоначальные сейсмические параметры, отвечающие закону линейной функциональной зависимости энергии расхождения. В грунтах третьей категории такая зависимость может сохраняться только при бо-

лее слабом ударном воздействии. В связи с этим для третьей категории грунтов превалирующая роль в инженерно-сейсмических исследованиях должна отводиться изучению их дилатансионных свойств.

Расчеты параметров максимального сейсмического воздействия

Здесь представлены оценочные вычисления основных параметров сейсмических воздействий для местных исходных условий в рамках эмпирических соотношений, принятых в национальных стандартах России [6, 13–15]:

1. Диапазоны изменений PGA в зависимости от расстояния и категорий грунта определяются тремя зонами затухания сейсмического воздействия:

- в очаговой зоне PGA для сброса $PGA_0 = 5 \text{ м/с}^2$;
- граница между очагом и ближней зоной составляет: $\lg R_{0-6} = 1.1 \text{ км}$; в ближней зоне, где $R = 6.5 \text{ км}$, PGA_6 равна 2.05 м/с^2 , или $0.205g$;

- граница между ближней и дальней зонами находится на расстоянии $\lg R_{6-д} = 8.7 \text{ км}$; тогда $PGA_{6-д}$ на этой границе равно 1.7 м/с^2 при любых условиях;

- величина $PGA_{д}$ в дальней зоне в зависимости от категории грунта равна:

I категория — $PGA_{д1} = 1.17 \text{ м/с}^2$, или $0.12g$, тогда $PGV_{д1} \approx 0.11 \text{ м/с}$, $PGD_{д1} \approx 0.032 \text{ м}$;

II категория — $PGA_{д2} = 1.74 \text{ м/с}^2$, или $0.17g$, тогда $PGV_{д2} \approx 0.18 \text{ м/с}$, $PGD_{д2} \approx 0.06 \text{ м}$;

III категория — $PGA_{д3} = 2.57 \text{ м/с}^2$, или $0.26g$ (скачок PGA связан с увеличением общей продолжительности колебаний в грунтах III категории), тогда $PGV_{д3} \approx 0.28 \text{ м/с}$, $PGD_{д3} \approx 0.12 \text{ м}$.

2. Преобладающий период колебаний T_0 и резонансная частота F_0 для дальней зоны составляют: $T = (0.13 \pm 0.20) \text{ с}$; $T_1 = 0.33 \text{ с}$ или $F_1 = 3.03 \text{ Гц}$; учитывая 67 % доверительный интервал, продлив частотный интервал в сторону низкочастотной части для горизонтальной компоненты, тогда предельное значение будет: $T_2 = 0.13 + 0.087 = 0.217 \approx 0.22 \text{ с}$ или $F_2 = 4.55 \text{ Гц}$, соответственно, $0.22 \leq T_0 \leq 0.33 \text{ с}$ и $3.03 \leq F_0 \leq 4.55 \text{ Гц}$.

3. Ширина импульса τ в дальней зоне по категории грунтов соответствует: для грунтов I категории $\tau_1 = 1.08 \text{ с}$; для грунтов II категории $\tau_2 = 1.5 \text{ с}$; для грунтов III категории $\tau_3 = 3.9 \text{ с}$.

4. Общая продолжительность колебаний примерно в 5 раз превышает ширину импульса, тогда: для грунтов I категории $t_1 = 5.25 \text{ с}$; для грунтов II категории $t_2 = 7.5 \text{ с}$; для грунтов III категории $t_3 = 19.5 \text{ с}$.

5. Оценка исходной сейсмической интенсивности для Сыктывкара в условиях детерминистского сценария. Ввиду того, что сейсмическая интенсивность меняется по мере распространения сейсмической волны от очага землетрясения, распределим ее по зонам: $I = 2.5 \lg PGA + 1.25 \lg \tau + 1.05$, где:

- в очаге $PGA_0 = 5 \text{ м/с}^2$, $R_0 = 0 \text{ км}$, тогда $I = 7.8$ балла;

- на границе между очагом и ближней зоной $PGA_{0-6} = 2.05 \text{ м/с}^2$, $I = 7.5$ балла;

- на границе между ближней и дальней зонами $PGA_{6-д} = 1.7 \text{ м/с}^2$, $I = 7.2$ балла;

- в дальней зоне для грунтов III категории $PGA_{д} = 2.57 \text{ м/с}^2$, $\tau = 3.9 \text{ с}$, $I = 7.8$ балла.

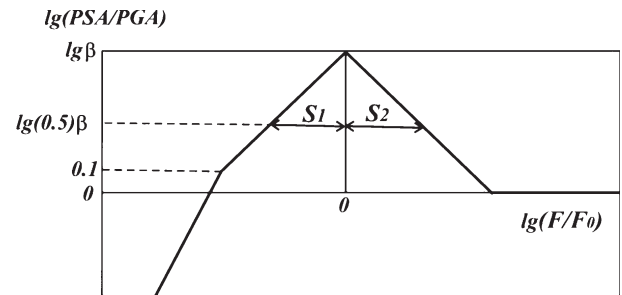


Рис. 2. Нормированный спектр по уровню и преобладающей частоте:

S_1 — высокочастотная часть спектра; S_2 — низкочастотная часть спектра; $S = S_1 + S_2$ — логарифмическая ширина спектра; F — частота колебаний; F_0 — преобладающая часть спектра колебаний; PGA — пиковое ускорение грунта; PSA — спектральная амплитуда; β — коэффициент динамического усиления

Fig. 2. The normalized spectrum by the level and the prevailing frequency, where:

S_1 — high-frequency part of the spectrum; S_2 — low-frequency part of the spectrum; $S = S_1 + S_2$ is the logarithmic width of the spectrum; F is the oscillation frequency; F_0 — is the predominant part of the vibration spectrum; PGA — peak ground acceleration; SA is the spectral amplitude; β — coefficient of dynamic amplification

6. Расчет спектра реакции был выполнен на основе эмпирических зависимостей Φ . Φ . Аптикаева [3], где спектры нормированы по уровню PSA и резонансной частоте F_0 (рис. 2). Значение коэффициента динамичности в условиях разрядки очага — сброса для первой, второй, третьей категорий грунтов было получено: $\lg \beta = 0.72 - 0.28 \times S + 0.07 \lg \tau \pm 0.07$, где $S = 0.55; 0.65; 0.75$, $\tau = 1.08; 1.5; 3.9$. После расчетов кривая динамичности для каждой категории грунтов соответствует:

$\beta_1 = 3.7 \pm 0.07$ для грунтов I категории; $\beta_2 = 3.55 \pm 0.07$ для грунтов II категории; $\beta_3 = 3.56 \pm 0.07$ для грунтов III категории; тогда ее эффективная величина $\beta = 3.56$.

7. Максимальная амплитуда спектра реакции PSA_{max} с учетом коэффициента динамичности будет составлять:

- в очаговой зоне $PSA_{0max} = 3.7 \times 5 \text{ м/с}^2 \approx 18.5 \text{ м/с}^2 = 1.85g$;

- между очагом и ближней зоной $PSA_{0-6 max} = 3.7 \times 2.05 \text{ м/с}^2 \approx 7.59 \text{ м/с}^2 = 0.759g$;

- между ближней и дальней зонами $PSA_{6-д max} = 3.55 \times 1.7 \text{ м/с}^2 \approx 6.04 \text{ м/с}^2 = 0.604g$;

- в дальней зоне для грунтов I категории $PSA_{д1} = 3.7 \times 1.17 \text{ м/с}^2 \approx 4.33 \text{ м/с}^2 = 0.433g$;

- в дальней зоне для грунтов II категории $PSA_{д2} = 3.55 \times 1.74 \text{ м/с}^2 \approx 6.18 \text{ м/с}^2 = 0.618g$;

- в дальней зоне для грунтов III категории $PSA_{д3} = 3.56 \times 2.57 \text{ м/с}^2 \approx 9.15 \text{ м/с}^2 = 0.915g$.

Формирование местных акселерограмм и спектров ответа

В разделе оценки параметров сейсмического воздействия были проведены расчеты, относящиеся к сильным движениям грунта. В результате были



определены исходные независимые друг от друга параметры, позволяющие описать любое сейсмическое движение: PGA(PGV, PGD), τ , T_0 , S. Резонансные частоты и дилатансионные свойства местных грунтов были определены сейсמודинамическими исследованиями в условиях их естественного залегания. В дальнейшем эти данные были использованы в построении спектров реакции и генерации синтетических акселерограмм, отвечающих региональным сейсмическим условиям. Ввиду того, что Сыктывкар находится на мощных рыхлых четвертичных отложениях, расчеты акселерограмм сдвиговых движений и спектров реакции основания грунта имеют несколько отличительный характер в области резонансных частот и динамических коэффициентов по сравнению с классическими разрезами в сейсмическом понимании.

Акселерограмма и спектрограмма при превышении интенсивности МРЗ с вероятностью 0.5 % в течение 50 лет (период повторяемости 10 000 лет)

Данное допущение — $I = 7$ баллов ШСИ-17 для ОСП-97-D — основывается на семибальном Сысольском землетрясении, которое было зарегистрировано опорными телесейсмическими сейсмостанциями: «Свердловск», «Пулково», «Москва», «Фрунзе», «Андижан» [2]. Следовательно, этот маловероятный сценарий уже был реализован местной сейсмичностью в 1939 г. в южной части Республики Коми. В связи с этим мы допускаем возможность повторных сейсмических толчков и в будущем при данной вероятности в неблагоприятных грунтовых усло-

виях, где приращение интенсивности к исходной будет существенно усиливаться. Варианты «предельного ущерба» могут иметь место в обводненных приповерхностных грунтовых горизонтах, состоящих из песков, супесей, а также в мягкопластичных глинах, имеющих коэффициент пористости 0.9. Расчетные параметры для задания предельного спектра и акселерограммы оценки параметров интенсивности в условиях ОСП-97-D следующие:

1) для грунтов III категории ($a_g = 0.15g$, $S = 0.64$, $T_0 = 0.5$ с, $F_0 = 2$ Гц, $\tau = 3.9$ с, $PGA = 0.243g$, $PGV = 0.254$ м/с, $PGD = 0.0795$ м, $\beta = 3.82$).

2) для грунтов II категории ($a_g = 0.15g$, $S = 0.43$, $T_0 = 0.33$ с, $F_0 = 3.03$ Гц, $\tau = 1.5$ с, $PGA = 0.225g$, $PGV = 0.147$ м/с, $PGD = 0.0460$ м, $\beta = 4.09$).

Расчеты на основе этих данных показывают эффективное значение исходной интенсивности ШСИ-17 для грунтов: III категории $I = 7.81$ балла, II категории $I = 7.16$ балла. Акселерограмма и спектрограмма представлена на рис. 3. Результаты хорошо согласуются с расчетами исходной интенсивности для дальнейшей зоны, где она повышается за счет увеличения общей продолжительности колебаний, влекущих резонансные проявления в грунтах III и II категорий.

Акселерограмма и спектрограмма при превышении интенсивности ПЗ с вероятностью 1 % в течение 50 лет (период повторяемости 5 000 лет)

Проектное землетрясение заданной сейсмичности с максимальной интенсивностью $I = 6$ баллов ШСИ-17 для ОСП-97-C может произойти с вероятностью

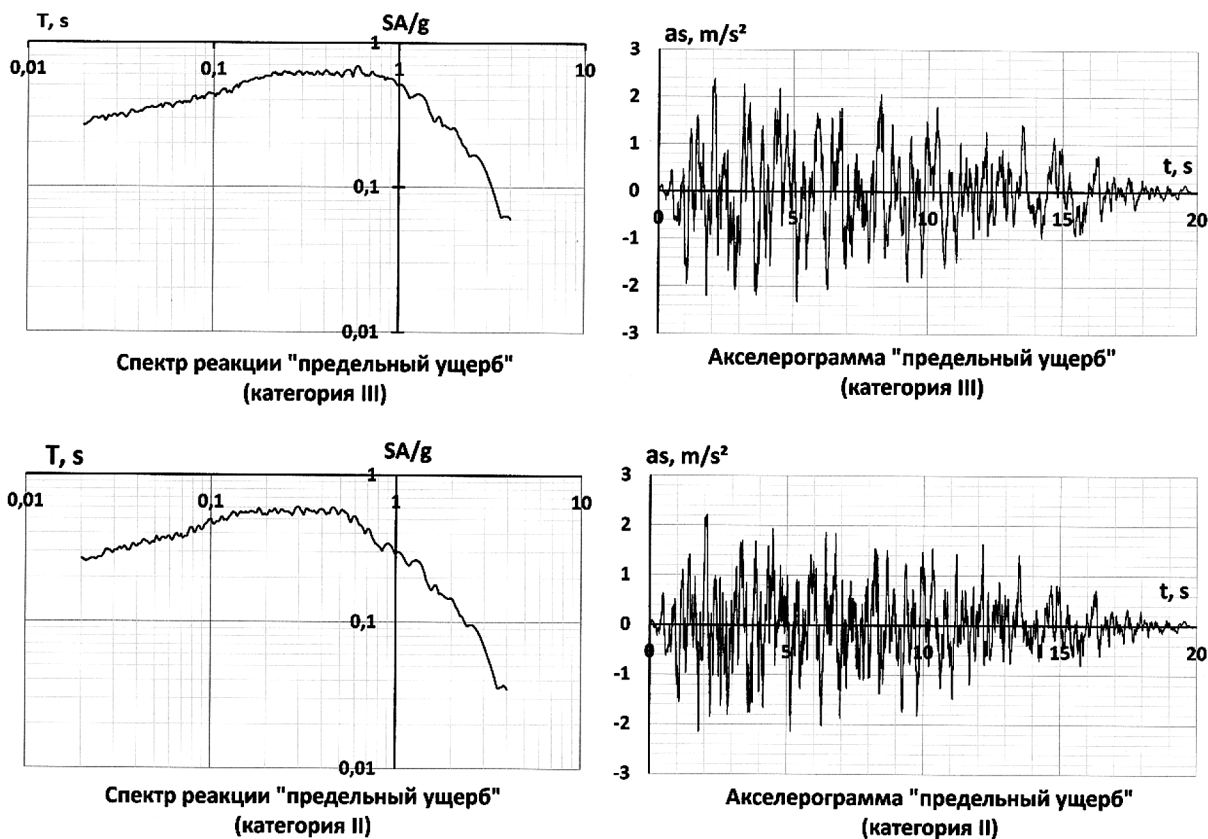


Рис. 3. Графическое изображение основных параметров сейсмического воздействия в условиях ОСП-97-D (категория грунтов III и II)

Fig. 3. Graphical representation of the main parameters of the seismic action in the conditions of GSZ-97-D (soil category III and II)

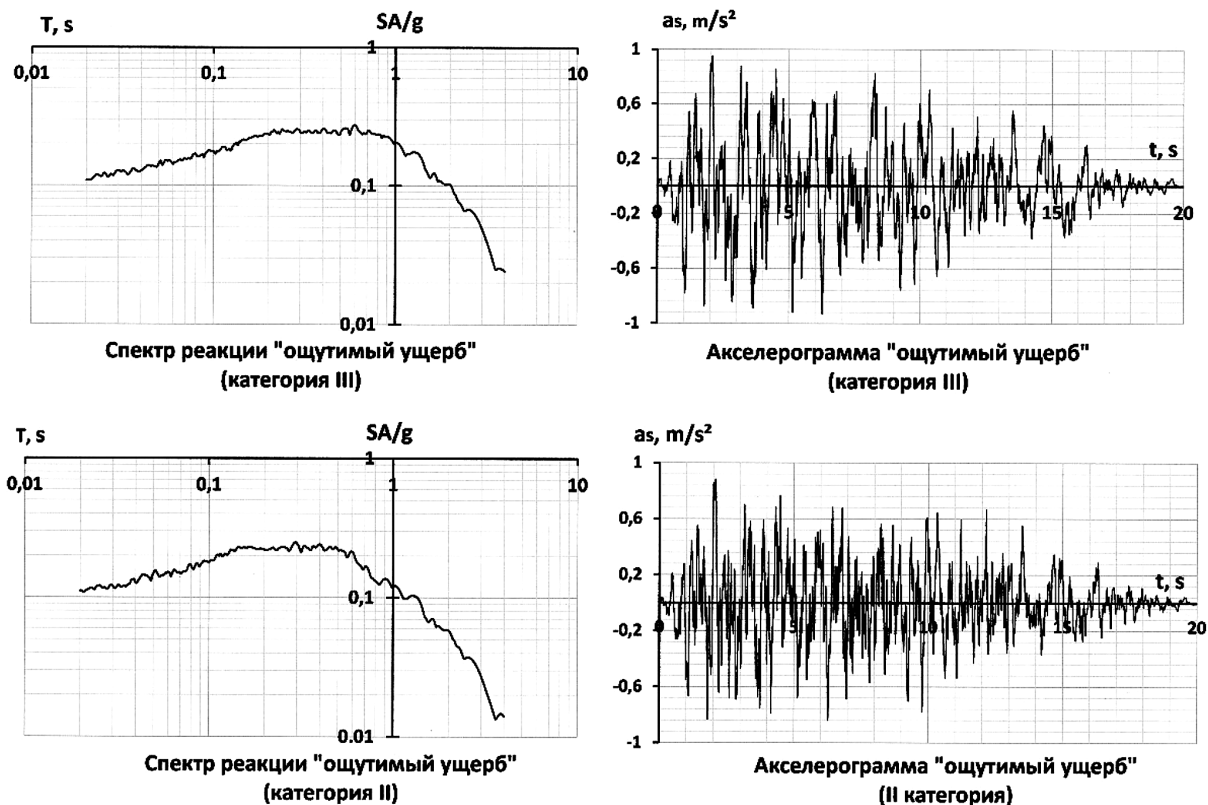


Рис. 4. Графическое изображение основных параметров сейсмического воздействия в условиях ОСП-97-С (категория грунтов III и II)

Fig. 4. Graphical representation of the main parameters of the seismic action in the conditions of GSZ-97-C (soil category II)

стью 1 % в течение 50 лет при периоде повторяемости 5 000 лет. Оно может реализоваться в максимально неблагоприятных грунтовых условиях, где приращение интенсивности к исходной будет усиливаться от одного до двух баллов ШСИ-17. Варианты возникновения «ощутимого ущерба» также могут иметь место в обводненных грунтовых горизонтах, состоящих из песков, супесей и мягкопластичных глин, имеющих коэффициент пористости 0.9. Параметры расчетной региональной акселерограммы приведены ниже, в рисунках и таблице (рис. 4). Расчетные параметры для задания предельного спектра и акселерограммы оценки параметров интенсивности в условиях ОСП-97-С следующие:

1) для грунтов III категории ($a_g = 0.15g$, $S = 0.55$, $T_0 = 0.5$ с, $F_0 = 2$ Гц, $\tau = 3.9$ с, $PGA = 0.097g$, $PGV = 0.06$ м/с, $PGD = 0.011$ м, $\beta = 4.05$);

2) для грунтов II категории ($a_g = 0.15g$, $S = 0.38$, $T_0 = 0.33$ с, $F_0 = 3.03$ Гц, $\tau = 1.5$ с, $PGA = 0.09g$, $PGV = 0.052$ м/с, $PGD = 0.008$ м, $\beta = 4.24$).

Расчеты на основе этих данных дают эффективное значение исходной интенсивности ШСИ-17 для грунтов III категории $I = 6.63$ балла и II категории $I = 6.06$ балла. Акселерограмма и спектрограмма представлена на рис. 4.

Это также согласуется с расчетами исходной интенсивности для дальней зоны, где ее повышение происходит за счет увеличения общей продолжительности колебаний, приводящих к резонансным явлениям для грунтов III и II категорий, но уже в меньшей степени.

Акселерограмма и спектрограмма превышения интенсивности ПЗ с вероятностью 5 и 10 % в течение 50 лет (за период 500 и 100 лет)

В районе сейсмических исследований ожидаемые землетрясения заданной сейсмичности по величине максимальной интенсивности $I = 5$ баллов по ШСИ-17 совпадают с картами ОСП-97-В и ОСП-97-А, но при разной величине вероятности их проявления составляют 5 и 10 % в течение 50 лет при периоде повторяемости 500 и 100 лет соответственно. В связи с этим для данной интенсивности вероятность проявления землетрясений можно увеличить до 10 % в течение 50 лет при периоде повторяемости 100 лет. Пятибалльная интенсивность сейсмических толчков будет наблюдаться прежде всего вдоль береговой зоны рек Сысолы и Вычегды в виде оползневых процессов, а также на участках ослабленных зон самого города. Это будет проявляться в виде просадки фундаментов с последующим образованием трещин и слабых разрушений. В целом воздействие сейсмического толчка при данной интенсивности можно охарактеризовать как «слабый ущерб». Расчетные параметры для задания предельного спектра и акселерограммы оценки параметров интенсивности в условиях ОСП-97-В (А) следующие:

1) для грунтов III категории ($a_g = 0.05g$, $S = 0.47$, $T_0 = 0.5$ с, $F_0 = 2$ Гц, $\tau = 3.9$ с, $PGA = 0.081g$, $PGV = 0.0648$ м/с, $PGD = 0.026$ м, $\beta = 4.24$).

2) для грунтов II категории ($a_g = 0.05g$, $S = 0.33$, $T_0 = 0.33$ с, $F_0 = 3.03$ Гц, $\tau = 1.5$ с, $PGA = 0.075g$, $PGV = 0.0491$ м/с, $PGD = 0.015$ м, $\beta = 4.36$).

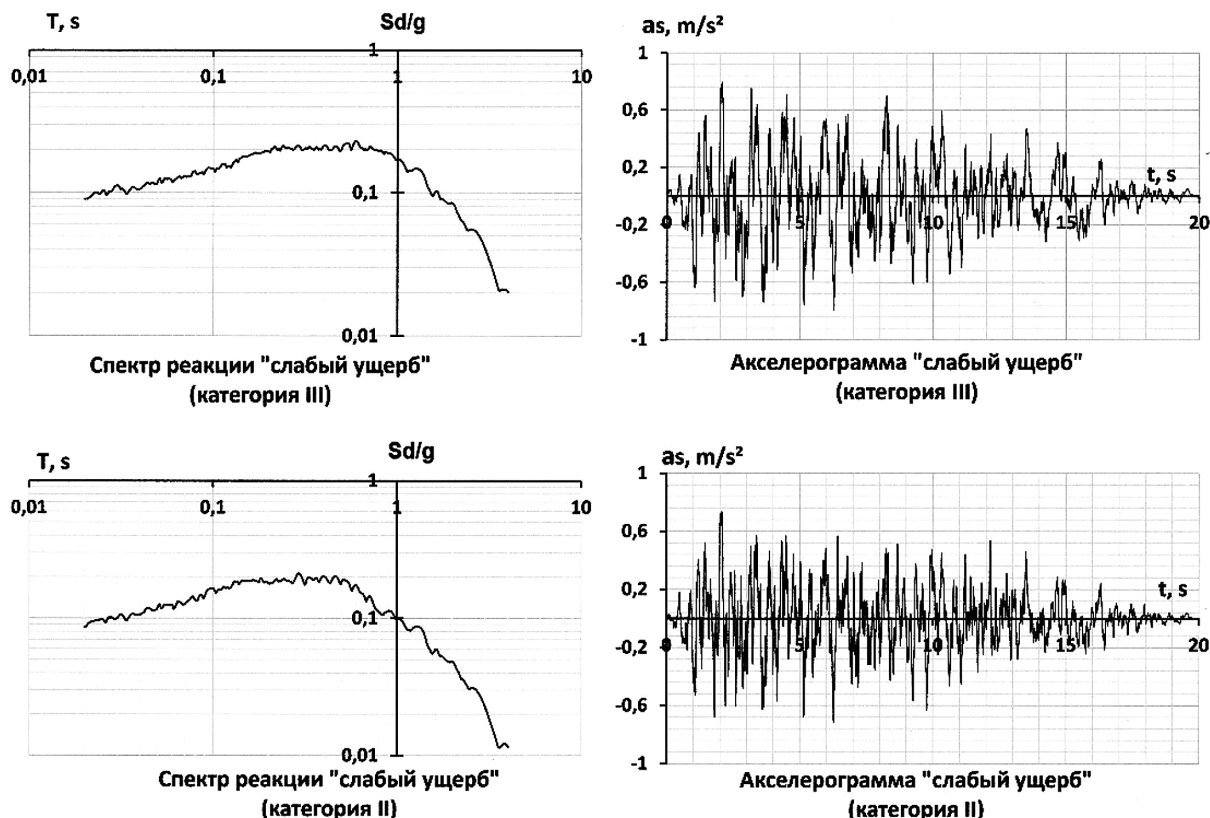


Рис. 5. Графическое изображение основных параметров сейсмического воздействия в условиях ОСП-97-В и ОСП-97-А (категория грунтов III и II)

Fig. 5. Graphical representation of the main parameters of the seismic action in the conditions of GSZ-97-B and GSZ-A (soil category III and II)

Расчеты на основе этих данных показали эффективное значение исходной интенсивности ШСИ-17 для грунтов III категории $I = 5.00$ баллов и II категории $I = 4.48$ балла. Акселерограмма и спектрограмма представлены на рис. 5.

Рассеянная «фоновая» сейсмичность

Рассеянная сейсмичность связана с более низким порядком развития разломной тектоники (трещины и локальные разрывы), а также она возможна при повышенной, резко меняющейся градиентной неоднородности по глубине разреза земной коры, что позволяет накапливать энергию дифференцированно: в более плотных слоях — большее количество, в менее плотных — меньшее. При этом типы подвижек в очаге могут быть самыми разными. Ввиду выброса меньшей энергии в очаге максимально ожидаемая магнитуда в локальных зонах, скорее всего, не будет превышать 3.5 единицы, тогда исходная интенсивность сейсмического толчка будет слабее на порядок, чем в районах проявления сосредоточенной сейсмичности. Основная опасность заключается в том, что такого рода землетрясения могут произойти в любой точке «ослабленной зоны» геологической структуры на рассматриваемой территории. Повторяемость землетрясений существенно реже, чем в зонах сосредоточенной сейсмичности. Поэтому оценка сейсмической опасности, связанной с фоновыми землетрясениями, сводится к установлению наличия их эпицентров в непосредственной близости к площадке ООО.

Эпицентральное расстояние здесь кратчайшее, т. к. гипоцентральное и эпицентральное расстояния совпадают. Расчетные параметры для задания предельного спектра и акселерограммы оценки параметров интенсивности в условиях фоновой сейсмичности ОСП-97-А следующие:

1) для грунтов III категории ($a_g = 0.05g$, $S = 0.38$, $T_0 = 0.5$ с, $F_0 = 2$ Гц, $\tau = 3.9$ с, $PGA = 0.0324g$, $PGV = 0.0848$ м/с, $PGD = 0.0265$ м, $\beta = 4.52$);

2) для грунтов II категории ($a_g = 0.05g$, $S = 0.30$, $T_0 = 0.33$ с, $F_0 = 3.03$ Гц, $\tau = 1.5$ с, $PGA = 0.03g$, $PGV = 0.0491$ м/с, $PGD = 0.0153$ м, $\beta = 4.45$).

Расчеты на основе этих данных показывают эффективное значение исходной интенсивности ШСИ-17 для грунтов III категории $I = 4.17$ балла и II категории $I = 3.91$ балла. Акселерограмма и спектрограмма представлены на рис. 6.

Заключение

Проведенные исследования показали следующие результаты:

- на основе сейсмологических и сеймотектонических данных составлено уравнение (график) повторяемости местных землетрясений;
- с помощью сейсмического мониторинга разломных зон определены области распределения частотного состава микросейсм, где полезными сигналами являются высокочастотные микросейсмические колебания с повышающейся амплитудой сигнала,

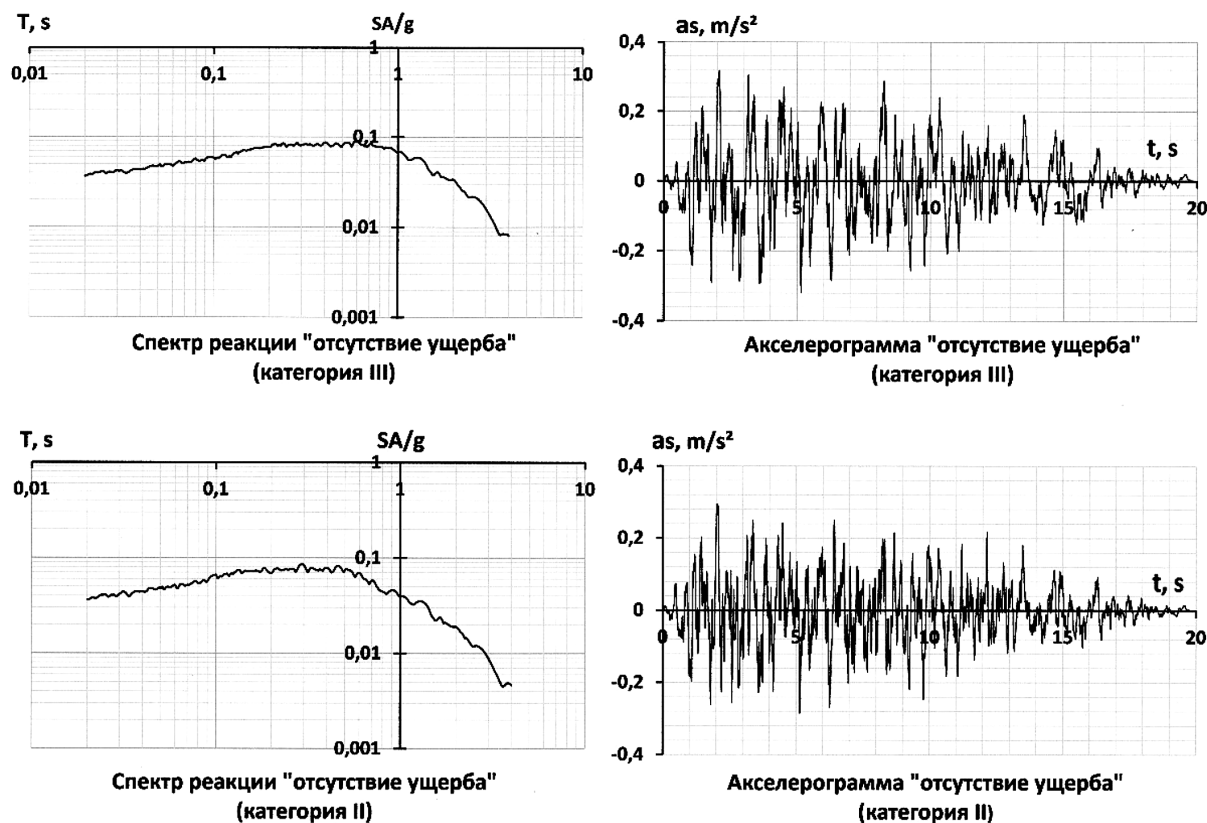


Рис. 6. Графическое изображение основных параметров сейсмического воздействия в условиях фоновой сейсмичности ОСП-97-А (категория грунтов III и II)

Fig. 6. Graphical representation of the main parameters of the seismic action under conditions (background seismicity) of GSZ-97-A (category of soils III and II)

формирующиеся в разломных зонах (требуются дальнейшие исследования);

- проведена дифференциация местных грунтов по несущим сейсмическим свойствам с последующим разделением их на четыре категории;
- дана оценка резонансным и дилатансионным свойствам как для однородных по составу грунтов, так и разнородных, переслаивающихся по глубине разреза II и III категориями;
- дана предварительная оценка параметров сейсмического воздействия, отвечающих условиям крайне неблагоприятного и ожидаемого сценария;
- на основе теоретических и опытно-методических исследований определены исходные данные для построения спектров и акселерограмм, отвечающих условию исходной интенсивности для МРЗ и ПЗ;
- затронута тема рассеянной сейсмичности с последующим построением спектров и соответствующих им акселерограмм;
- проведено условное разделение спектрограмм и акселерограмм по степени причинения ущерба: «предельный ущерб», «ощутимый ущерб», «слабый ущерб», «отсутствие ущерба».

Литература

1. Андреева Л. Н. Плейстоцен Европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 322 с.
2. Ананьев И. В. К вопросу о проявлении некоторых землетрясений в восточной части Восточно-Европейской

платформы // Исследования по сейсмической опасности. М.: Наука, 1988. С. 119—123 (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 29).

3. Антикаев Ф. Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование, 2012. 176 с.

4. Антикаев Ф. Ф., Эртелева О. О. Методы прогноза регионального спектра реакции для строительства и проектирования // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2012. № 2. С. 15—19.

5. Белякова Л. Т., Богацкий В. И., Богданов Б. П., Довжиков Е. Г., Ласкин В. М. Фундамент Тимано-Печорского нефтегазового бассейна. Киров: Кировская областная типография, 2008. 288 с.

6. ГОСТ Р 57546—2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности // ИСС «ТЕХЭКСПЕРТ».

7. Гутенберг Б., Рихтер К. Ф. Магнитуда, интенсивность, энергия и ускорение как параметры землетрясений // Слабые землетрясения. М.: Изд-во иностранной литературы. 1961. С. 72—119.

8. Лютов В. А., Лютова Н. В. Особенности сейсмического районирования платформенных областей (на примере Республики Коми) // Успехи современного естествознания. 2017. № 3. С. 102—111.

9. Лютов В. А., Пономарева Т. А. Геолого-геофизическая основа сейсмического районирования Европейского Северо-Востока России // Вестник Института геологии КНЦ УрО РАН. 2012. № 12. С. 2—5.

10. Моделирование процесса естественного образования вертикально-направленных объемных волн в гео-



среде / М. Р. Камилов., Е. В. Билярцев, Д. В. Бережной // Экспозиция. Нефть. Газ. 2011. № 6. С. 5—7.

11. Носкова Н. Н., Михайлова Р. С. Республика Коми и Кировская область // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 228—238.

13. Руководство по безопасности. РБ-006-98. Определение исходных сейсмических колебаний для проектных основ. М.: Госатомнадзор России, 2000. 76 с.

12. СП XXX.1325800.2017. Детальное сейсмическое районирование и сейсмомикрорайонирование для территориального планирования. М., 2017.

14. СП 286. 1325800.2016. Объекты строительные повышенной ответственности. Правила детального сейсмического районирования. М., 2016.

15. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП-7-81* (актуализированный СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) (с Изменением № 1).

16. Тимонин Н. И. Сысольское землетрясение 1939 г. (материалы опроса) / Коми научный центр УрО АН СССР. Сыктывкар, 1986.

References

1. Andreevcheva L. N. *Pleistotsen evropeiskogo Severo-Vostoka* (Pleistocene of the European North-East). Ekaterinburg: UB RAS, 2002, 322 p.

2. Ananin I. V. *K voprosu o proyavlenii nekotorykh zemletryasenii v vostochnoi chasti Vostochno-Evropeiskoi platformy* (To the question of the manifestation of some earthquakes in the eastern part of the East European Platform). Studies in seismic hazard. Moscow: Nauka, 1988, pp. 119—123 (Vocab., Engineer of seismology, issue 29).

3. Aptikayev F. F. *Instrumentalnaya shkala seismicheskoi intensivnosti* (Instrumental scale of seismic intensity). M.6, Science and Education, 2012, 176 p.

4. Aptikayev F. F., Erteleva O. O. *Metody prognoza regionalnogo spektra reaktsii dlya stroitelstva proektirovaniya* (Methods of forecasting the regional response spectrum for construction design). Seismic resistant construction. Safety of buildings, 2012, No. 2, pp. 15—19.

5. Belyakova L. T., Bogatsky V. I., Bogdanov B. P., Dovzhikov E. G., Laskin V. M. *Fundament Timano-Pechorskogo*

neftegazovogo basseina (The foundation of the Timano-Pechora oil and gas basin). Kirov: Kirov Regional Printing House, 2008. 288 p.

6. GOST R 57546-2017 *Zemletryaseniya. Shkala seismicheskoi intensivnosti* (ISSR 57546-2017 Earthquakes. Scale of seismic intensity). Source of TECHEKSPERT.

7. Gutenberg B., Richter K. F. *Magnituda, intensivnost, energiya i uskorenie kak parametry zemletryaseni. (I). (II)* (Magnitude, intensity, energy and acceleration as parameters of earthquakes. (I). (II)). Weak earthquakes. Moscow: Publishing House of Foreign Literature, 1961, pp. 72—119.

8. Lyutov V. A., Lyutova N. V. *Osobennosti seismicheskogo raionirovaniya platformnykh oblastei (na primere Respubliki Komi). Uspehi sovremennogo estestvoznaniya № 3* (Features of seismic zoning of platform areas (on the example of the Republic of Komi). Successes of modern natural science №3), 2017, pp. 102—111.

9. Lyutov V. A., Ponomareva T. A. *Geologo-geofizicheskaya osnova seismicheskogo raionirovaniya Evropeiskogo severo-vostoka Rossii* (Geological and geophysical basis of seismic zoning of the European North-East of Russia). Vestnik of Institute of Geology, Komi SC UB RAS, 2012, No. 12, pp. 2—5.

10. *Modelirovanie protsessa estestvennogo obrazovaniya vertikal'no-napravlennykh ob'emnykh voln v geosrede* (Simulation of the process of natural formation of vertically directed volume waves in the geospace environment). Kamilov M. R., Bilyartsev E. V., Berezhnoi D. V. Exposition. Oil. Gas, 2011, 6, pp. 5—7.

11. Noskova N. N., Mikhailova R. S. *Respublika Komi i Kirovskaya oblast. Zemletryaseniya Severnoi Evrazii* (Komi Republic and Kirov Region. Earthquakes of Northern Eurasia), 2011, Obninsk: EGS RAS, 2017, pp. 228—238.

12. *Rukovodstvo po bezopasnosti. RB-006-98. Opredelenie ishodnykh seismicheskikh kolebaniy dlya proektnykh osnov* (Safety Guide. RB-006-98. Determination of initial seismic vibrations for design bases). Moscow: Gosatomnadzor of Russia, 2000, 76 pp.

13. СП XXX.1325800.2017 Detailed seismic zoning and seismostratigraphy for spatial planning. Moscow, 2017.

14. СП 286. 1325800.2016 Objects of increased responsibility. Rules for detailed seismic zoning. Moscow 2016.

15. СП 14.13330.2014 Construction in seismic regions SNiP-7-81 * (updated SNiP II-7-81* «Construction in seismic regions» (SP 14.13330.2011)) (with Change No. 1)

16. Timonin N. I. *Sysolskoe zemletryasenie 1939 g. (materialy oprosa)* (Sysolskoe earthquake in 1939 (materials of the survey)). Komi SC UB RAS, Syktывkar, 1986.



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 552.163; 552.4 (234.851)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-11-22-30

ТИПОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЦИРКОНОВ ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НЯРОВЕЙСКОЙ СЕРИИ И НЕМУРЬЮГАНСКОЙ СВИТЫ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

О. В. Гракова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

ovgrakova@geo.komisc.ru

Впервые проведена сравнительная характеристика цирконов из метаосадочных, в том числе углеродсодержащих, верхнепротерозойских отложений няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала. Изучение типохимических особенностей цирконов показало отличия во внутреннем строении и химическом составе минерала. Для метаосадочных безуглеродистых пород характерна ровная поверхность и однородное строение зерен циркона. В цирконах из углеродсодержащих отложений внутреннее строение неоднородное, присутствуют вторичные изменения. В углеродсодержащих отложениях няровейской серии и немурьюганской свиты в составе циркона отмечается уран. Циркон первоначально мог быть обогащен ураном, либо образование урана в изначально деформированных цирконах могло быть связано с гипергенными процессами. В углеродсодержащих отложениях минисейшорской свиты в цирконах помимо урана присутствуют иттрий, торий и скандий.

Ключевые слова: углеродсодержащие отложения, циркон, Полярный Урал.

COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF ZIRCONS OF UPPER-PROTEROZOIC DEPOSITS, THE NYAROVEI SERIES AND THE NEMURYUGAN SUITE (POLAR URALS)

O. V. Grakova

Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS, Syktvykar

For the first time, a comparative analysis of zircons from metasedimentary, including carbon-containing Upper Proterozoic deposits of the Nyarovei series and the Nemuryugan suite of the Polar Urals was carried out. The study of the typical features of zircons showed differences in the internal structure and chemical composition of the mineral. For meta-sedimentary non-carbonaceous rocks, a flat surface and a homogeneous structure of zircon grains are characteristic. In zircons from carbon-containing deposits, the internal structure is inhomogeneous, there are secondary changes. In the Carboniferous deposits of the Nyarovei series and the Nemuryugan suite, uranium is found in zircon. Zircon originally could be enriched with uranium, or the formation of uranium in initially deformed zircons could be associated with hypergenic processes. In carbon-containing deposits of the Miniseyshor suite in zircons, in addition to uranium, yttrium, thorium and scandium are present.

Keywords: carbon-containing deposits, zircon, the Polar Urals.

Введение

Изучение цирконов представляет большой интерес. Циркон является одним из основных акцессорных минералов в большинстве метаморфических пород. Он содержит U, Th, Hf и REE. Эти элементы-примеси очень важны для геохимических исследований и для определения возраста [10]. Цирконы, вновь образованные либо преобразованные, обнаруживают новые свойства, выраженные в изменении морфологии кристаллов, внутреннего строения и геохимического состава [6].

Особое значение приобретает изучение поведения циркона в углеродсодержащих отложениях, характеризующихся повышенными концентрациями многих металлов, редких и редкоземельных элементов. Представляется важным проследить, как и по каким причинам изменяется циркон в этих породах, вариации его химического состава, особенности морфологии.

Изучение типохимических особенностей цирконов метаосадочных отложений, в том числе углеродсодержащих, няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала позволит провести сравни-

тельную характеристику безуглеродистых и углеродсодержащих отложений и уточнить условия их формирования.

Характеристика объекта исследования

Объектом исследования явились верхнепротерозойские отложения (в том числе углеродсодержащие) няровейской серии и немурьюганской свиты (рис. 1) Центральноуральской мегазоны Полярного Урала [1]. Верхнехарьбейская и минисейшорская свиты, входящие в состав няровейской серии, состоят из кварцитов, филлитовидных, углеродистых, кварц-альбит-слюдистых и кварц-альбит-актинолит-слюдистых сланцев. Немурьюганская свита верхнего рифея представлена переслаивающимися слюдисто-альбит-кварцевыми, карбонатсодержащими сланцами, углеродсодержащими кварц-карбонатными породами, мраморами, кварцитами и метаэффузивами кислого, среднего и основного состава [5]. Нами были оценены значения РТ-параметров метаморфизма верхнепротерозойских отложений Полярного Урала. Установлено,

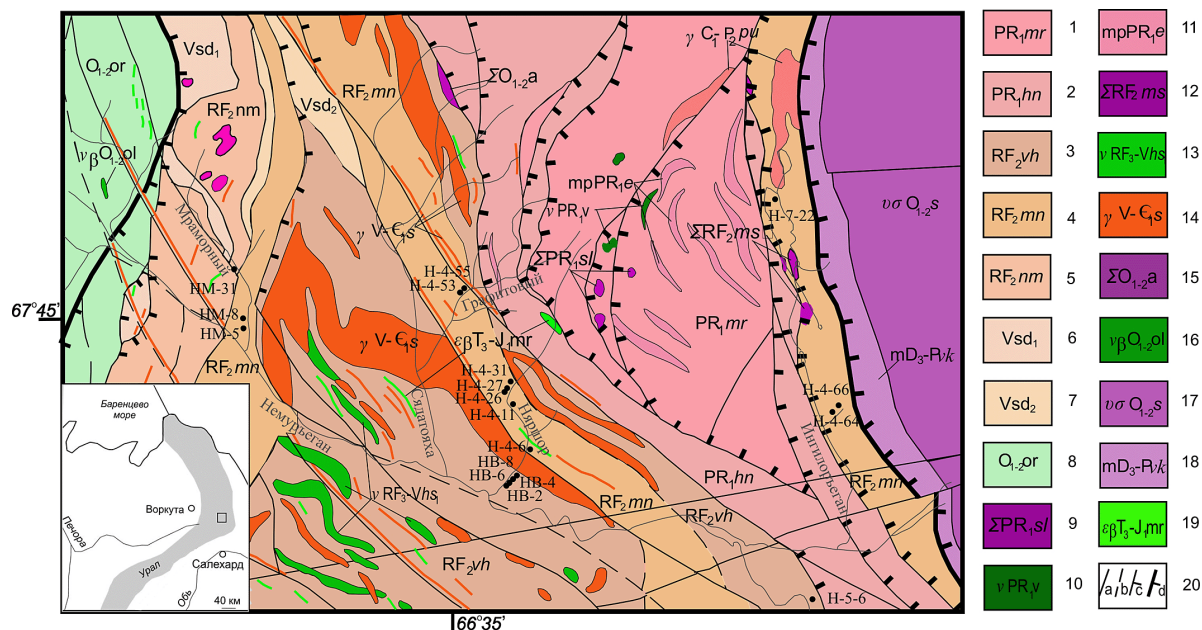


Рис. 1. Схематическая геологическая карта нижнего течения р. Немурьюган (Полярный Урал) (по [5]). Условные обозначения: 1 — марункеуская свита; 2 — ханмейхойская свита; 3 — верхнехарбейская свита; 4 — минисейшорская свита; 5 — немурьюганская свита; 6 — нижняя подсвита сядатинской свиты; 7 — верхняя подсвита сядатинской свиты; 8 — орангская свита; 9 — слюдяногорский комплекс габбро-гипербазитовый эклогитизированный плутонический; 10 — васькеуский комплекс плутонический метагаббро-дolerитовый гипабиссальный; 11 — евьюганский комплекс мигматит-плагиогранитовый плутонический; 12 — минисейский комплекс измененных гипербазитов плутонический; 13 — харбей-собский комплекс габброгранодиоритовый; 14 — сядатояхинский комплекс гранитовый плутонический; 15 — ампельшорский комплекс измененных ультрамафитов плутонический; 16 — орангюганско-лемвинский комплекс габбро-дolerитовый гипабиссальный; 17 — сымкеуский комплекс дунит-гарцбургитовый плутонический; 18 — войкаро-кемпирсайский комплекс тектонитов; 19 — марунский комплекс щелочно-базитовый; 20 — разрывные нарушения: а — сдвиги, б — неуставленной кинематики, с — взбросонадвиги второстепенные, d — взбросонадвиги главные. Точками отмечены места и номера отбора проб

Fig. 1. Schematic geological map of the lower reaches of the river Nemuryugan (Polar Urals) (according to [5]). Legend: 1 — Marunkey series; 2 — Hanmeyhoy series; 3 — Verhneharbey series; 4 — Miniseyshor series; 5 — Slyudyangogorsky complex gabbro-ultramafic plutonic eclogitized; 6 — the lower subordinate is the Sudaden suite; 7 — the upper subordinate is the Sudaden suite; 8 — Orang suite; 9 — Slyudyangogorsk complex gabbro-hyperbasic eclogitized plutonic; 10 — Vaskau complex plutonic metagabbro-dolerite hypabyssal; 11 — Evyugansky complex migmatite plagiogranite plutonic; 12 — Miniseysky complex ultramafic plutonic; 13 — Harbey-Sob complex gabbro-granodiorite; 14 — Shadatoyakhinsky granite plutonic complex; 15 — Ampelshory complex of altered ultramafites plutonic; 16 — Orangyugansko-Lamvinsky complex gabbro-doleritic hypabyssal; 17 — Syumkeusky complex harzburgite-dunite plutonic; 18 — Voikaro-Kempirsay complex tectonites; 19 — Marunsky complex alkaline-basic; 20 — discontinuous violations: a — shifts, b — unsettled kinematics, c — overturn thrusts secondary, d — upslope main thrusts. Points indicate places and numbers of sampling

что метаморфиты няровейской серии образовались в условиях эпидот-мусковит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации [3].

По химическому составу среди сланцев няровейской серии были выделены орто- и парапороды [8]. Ортопороды являются метабазальтами, метатугами и метариолитами. Парапороды представлены метаосадочными породами: метапелитами, метаморфизованными граувакковыми песчаниками и алевролитами, аркозовыми и кварцевыми песчаниками. Петрохимические исследования пород немурьюганской свиты показали, что большинство из них являются метаосадочными образованиями, присутствуют сланцы, имеющие вулканогенно-осадочное происхождение, являющиеся, скорее всего, метатугами основного-среднего состава [7]. С металлогенической точки зрения няровейская серия и немурьюганская свита специализированы на благороднометалльное оруденение, характеризуются надкларковыми значениями цинка, свинца, ванадия, фосфора и др. [5].

Нами было проведено U-Pb-датирование детритовых цирконов из отложений няровейской серии LA-SF-ICP-MS-методом, реализованным на базе одноколлекторного магнитно-секторного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Element XR и установки для лазерной абляции UP-213 в ГИН СО РАН. Было показано, что весь разрез няровейской серии, включающий верхнехарбейскую и минисейшорскую свиты, сформировался в позднем рифее [9].

Исследованы особенности сульфидной и сульфатной рудной минерализации верхнепротерозойских отложений няровейской серии Полярного Урала. Для метабазальтов няровейской серии характерно присутствие пирита, халькопирита, галенита, барита и англезита, а метаосадочные образования содержат пирит, халькопирит и сфалерит. Формирование пирита в метабазальтах и метапелитах различалось. В метабазальтах пирит образовался в результате метаморфизма пород. Установлено, что метабазальты няровейской серии перспективны на золото, его входя-

ние в структуру минерала осуществлялось совместно с мышьяком. Пирит из метапелитов образовался в процессе осадконакопления [2].

В углеродсодержащих отложениях няровейской серии и немурьюганской свиты нами было изучено углеродистое вещество, определено содержание благородных металлов и уточнена рудная специализация. Установлены средние значения температур образования углеродного вещества в углеродсодержащих сланцах верхнепротерозойских отложений Полярного Урала. Они составили около 500 °С. Углеродное вещество представлено нанокристаллическим графитом, его образование проходило в стабильных условиях. В породах няровейской серии присутствуют Os, Ir, Pd, содержание золота в углеродсодержащих сланцах достигает промышленно значимых концентраций. Выявлена редкоземельная уран-ториевая (монацит, ксенотим, коффинит), сульфидная (пирит, пентландит, ковеллин), сульфатная (барит) и медная минерализации. В сланцах обнаружен редкий минерал коркит. Формирование рудных минералов связано с метаморфическими и поздними окислительными процессами в приповерхностных условиях [4].

Методы исследования

Пробы для исследования были отобраны нами летом 2017 года из отложений няровейской серии и не-

мурьюганской свиты по ручьям Няршор, Немурьюган и Мраморный. Также нами была изучена предоставленная К. С. Нейман коллекция образцов пород няровейской серии по ручьям Няршор, Графитовый, безымянным притокам ручья Ингилорьеган.

Для установления типохимических особенностей циркона и проведения сравнительной характеристики минерала из разновозрастных отложений различного генезиса изучено более 20 аншлифов и около 100 микрондовых анализов. Химический состав минерала был установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионной приставкой Instruments X-Max (аналитики С. С. Шевчук, А. С. Шуйский и Е. М. Тропников) в ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН.

Типохимические особенности цирконов

Верхнехарьейская свита

Цирконы верхнехарьейской свиты были изучены в метаосадочных безуглеродистых отложениях (обр. Н-5-6) и углеродсодержащих метаосадочных отложениях (обр. НВ-2, НВ-4, НВ-6, НВ-8) (рис. 1).

В метаосадочных безуглеродистых породах цирконы обнаружены в виде окатанных округлых и удлиненных зерен размером 10–50 мкм (рис. 2, а–с). Структура кристаллов однородная, иногда отмечаются трещины, сколы. Помимо основных компо-

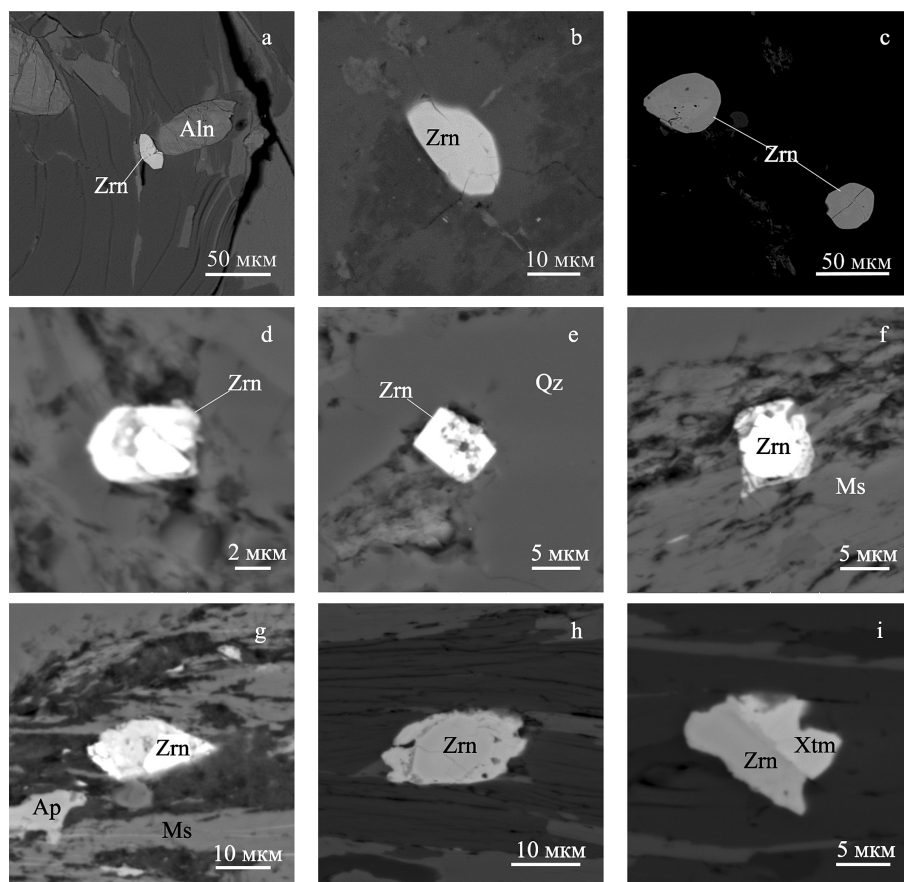


Рис. 2. Цирконы в метаосадочных отложениях верхнехарьейской свиты: а–с — безуглеродистых, d–i — углеродсодержащих. Zrn — циркон, Aln — алланит, Qz — кварц, Ms — мусковит, Ap — апатит, Xtm — ксенотим. Здесь и далее сокращения минералов приняты в соответствии с [11]

Fig. 2. Zircons in the metasedimentary deposits of Verkhneharbey series: a–c — carbon-free, d–i — carbon-containing. Zrn — zircon, Aln — allanite, Qz — quartz, Ms — muscovite, Ap — apatite, Xtm — xenotime. Here and further, mineral reductions are taken in accordance with [11]



нентов — SiO_2 (32.26—33.65 мас. %) и ZrO_2 (65.63—68.73 мас. %) в химическом составе циркона (см. таблицу, ан. 1—7) присутствуют HfO_2 (1.1—2.43 мас. %) и FeO (0.13—0.6 мас. %).

В углеродсодержащих метаосадочных отложениях циркон представлен окатанными зернами, слабоокатанными призматическими и короткопризматическими кристаллами размером 5—25 мкм. В цирконах отмечаются вторичные структуры: разрушенные области (рис. 2, d—g) и трещины (рис. 2, h). Присутствуют сростки зерен циркона с ксенотимом (рис. 2, i). По данным химического анализа циркона видно, что помимо основных компонентов — ZrO_2 (50.19—71.17 мас. %) и SiO_2 (26.96—38.08 мас. %) — они содержат следующие элементы-примеси (мас. %): HfO_2 (1.09—2.12), FeO (0.26—2.51), Al_2O_3 (0.46—2.6), K_2O (0.17—0.77), CaO (0.14—0.3) и UO_3 (0.63—1.44) (см. таблицу, ан. 8—20).

Минисейшорская свита

Цирконы минисейшорской свиты исследовались в метаосадочных безуглеродистых отложениях (Н-4-11, Н-4-64, Н-4-66, НМ-5, НМ-8) и углеродсодержащих метаосадочных отложениях (Н-4-26, Н-4-27, Н-4-31, Н-4-53, Н-4-55, Н-7-22) (рис. 1).

Цирконы метаосадочных безуглеродистых отложений представлены короткопризматическими и длиннопризматическими кристаллами, от слабо- до хорошо окатанных (рис. 3). Внутреннее строение кри-

сталлов однородное, иногда наблюдаются трещины (рис. 3, a, h). Размер кристаллов — от 5 до 40 мкм.

По химическому составу циркона (см. таблицу, ан. 21—40) можно отметить, что помимо основных компонентов — ZrO_2 (49.71—68.75 мас. %) и SiO_2 (29.31—37.57 мас. %) — присутствуют (мас. %): HfO_2 (0.64—2.06), FeO (0.46—3.5), Al_2O_3 (0.38—6.86), CaO (0.34—6.44), TiO_2 (0.42—1.58), Na_2O (0.77—4.11).

В углеродсодержащих метаосадочных породах цирконы обнаружены в виде длиннопризматических кристаллов, от слабо- до хорошо окатанных, и их обломков размером от 10 до 50 мкм (рис. 4). Поверхность цирконов неровная, на ней отмечаются углубления, сколы. Внутреннее строение неоднородное, с «выплавленными», «изъеденными» структурами, трещинами. Встречаются почти полностью разрушенные цирконы в виде неоднородной массы (рис. 4, a, e). В химическом составе цирконов помимо основных компонентов — ZrO_2 (46.77—68.42 мас. %) и SiO_2 (31.17—39.18 мас. %) — и элементов-примесей (мас. %): HfO_2 (0.9—1.86), FeO (0.29—2.19), Al_2O_3 (0.64—13.68), K_2O (0.21—1.58), CaO (0.36—0.5), TiO_2 (0.03—1.25), Na_2O (0.41—4.47), MgO (0.33—0.61) — появляются UO_3 (0.13—1.96), Y_2O_3 (3.73), ThO_2 (0.53—0.77), Sc_2O_3 (0.35) (см. таблицу, ан. 41—53).

Немурьюганская свита

Цирконы немурьюганской свиты изучались в метаосадочных безуглеродистых отложениях (НМ-31)

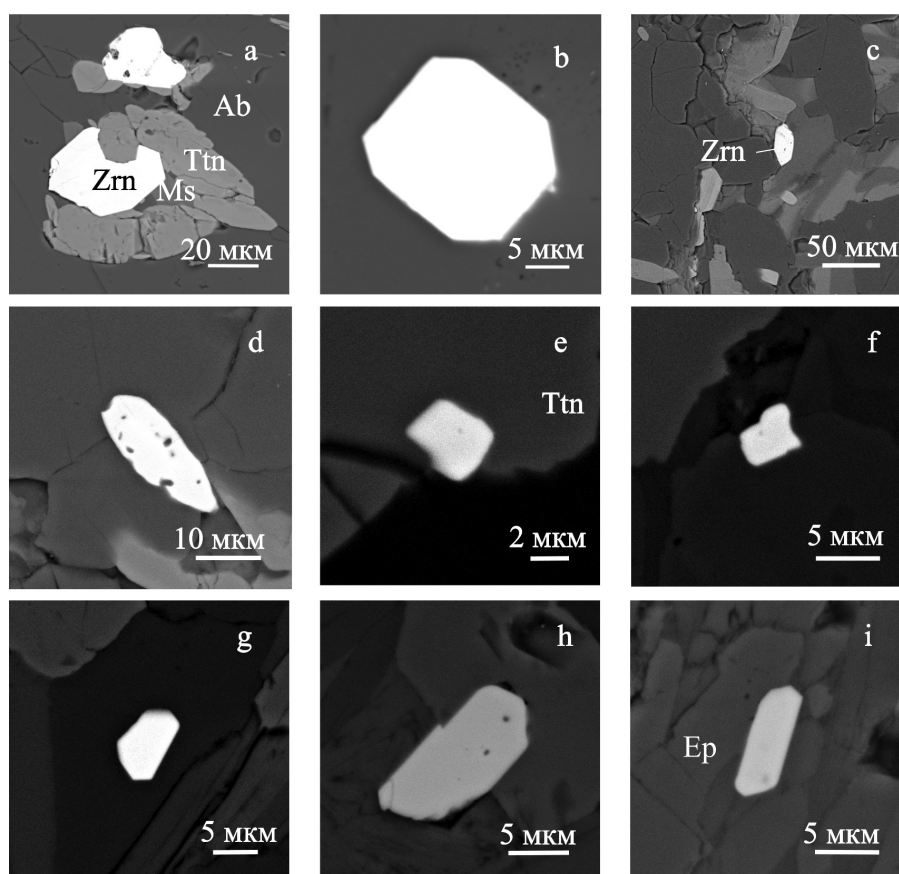


Рис. 3. Цирконы в метаосадочных безуглеродистых отложениях минисейшорской свиты: Zrn — циркон, Ab — альбит, Ep — эпидот, Ms — мусковит, Ttn — титанит

Fig. 3. Zircons in metasedimentary carbon-free sediments of Miniseyshor series: Zrn — zircon, Ab — albite, Ep — epidote, Ms — muscovite, Ttn — titanite

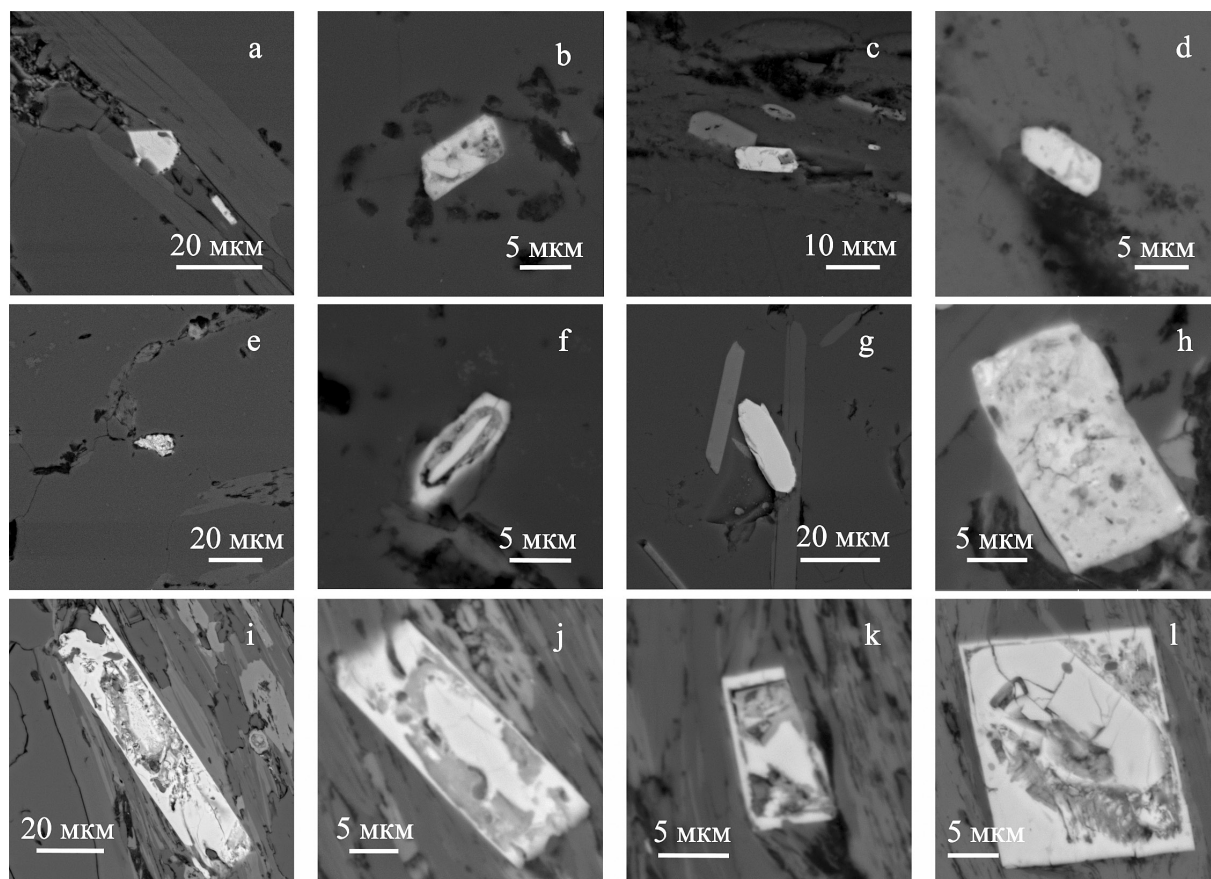


Рис. 4. Цирконы в углеродсодержащих метасадочных отложениях минисейшорской свиты

Fig. 4. Zircons in the carbon-containing metasedimentary deposits of Miniseysk series

и углеродсодержащих метасадочных отложениях (НМ-25, НМ-28) (рис. 1).

В метасадочных породах цирконы представлены короткопризматическими слабоокатанными кристаллами размером 5–30 мкм (рис. 5, а, б). По хи-

мическому составу видно, что в цирконах присутствуют (мас. %): ZrO_2 (45.99–66.97), SiO_2 (30.58–35.82) и элементы-примеси HfO_2 (1.10–1.46), FeO (0.69–1.16), Al_2O_3 (5.72–8.8), K_2O (2.43–3.85), CaO (0.74), TiO_2 (0.26–1.11), MgO (0.62–0.97) (см. таблицу, ан. 54–56).

В углеродсодержащих метасадочных отложениях циркон отмечен в виде короткопризматических кристаллов, от слабо- до хорошо окатанных, размерами 5–10 мкм (рис. 5, с, d). Помимо основных компонентов — ZrO_2 (51.22–63.23 мас. %) и SiO_2 (21.56–28.29 мас. %) — содержатся следующие элементы-примеси (мас. %): HfO_2 (0.83–1.41), FeO (0.29–1.38), Al_2O_3 (0.95–0.97), CaO (1.91–11.55), MgO (4–6.99), UO_3 (0.6–3.45) (см. таблицу, ан. 57–60).

Сравнительная характеристика цирконов няровейской серии и немурьюганской свиты

Изучение типохимических особенностей цирконов показало отличия во внутреннем строении и химическом составе цирконов безуглеродистых и углеродсодержащих метасадочных верхнепротерозойских отложений няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала.

Внутреннее строение цирконов из метасадочных безуглеродистых отложений няровейской серии и немурьюганской свиты чаще всего однородное, ровное, редко можно отметить трещинки, сколы на поверхности зерен (рис. 2, а–с, рис. 3, рис. 5, а, б).

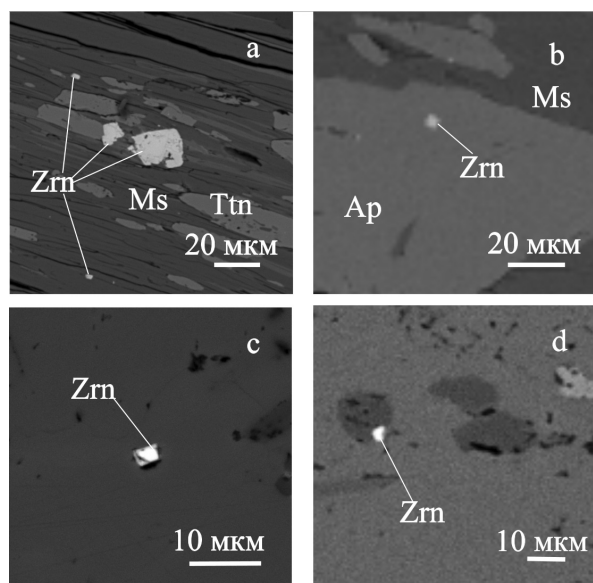


Рис. 5. Цирконы из метасадочных отложений немурьюганской свиты: а, б — безуглеродистых, с, d — углеродсодержащих

Figure 5. Zircons from metasedimentary deposits of Nemuryugan series: а, б — carbon-free, с, d — carbon-containing



Химический состав циркона метаосадочных отложений Полярного Урала, мас. %
Chemical composition of zircon from metasedimentary deposits of the Polar Urals, wt. %

Компо- ненты Components	Свита Suite	Верхнехарьбейская свита Verkhnekharbeyskaya suite									
		безуглеродистые отложения carbon free deposits						углеродсодержащие отл. carbon containing deposits			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂		33.04	32.26	32.82	33.65	32.56	33.48	32.82	31.37	38.08	34.67
ZrO ₂		67.57	67.31	68.57	68.73	65.63	68.57	67.77	64.55	56.82	66.28
HfO ₂		2.12	1.1	2.43	1.89	1.69	1.69	1.55	2.12	—	1.38
FeO		0.6	0.35	0.44	0.13	—	—	—	0.92	0.61	0.35
Al ₂ O ₃		—	—	—	—	—	—	—	0.97	0.73	0.44
K ₂ O		—	—	—	—	—	—	—	—	0.17	—
UO ₃		—	—	—	—	—	—	—	0.63	1.2	—
Сумма / Total		103.33	101.38	104.26	104.4	99.88	103.74	102.21	100.56	97.62	103.12
Компо- ненты Components	Свита Suite	Верхнехарьбейская свита Verkhnekharbeyskaya suite									
		углеродсодержащие отложения carbon containing deposits									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂		34.98	31.09	27.54	31.32	31.2	33	32.78	28.29	26.96	30.31
ZrO ₂		60.58	66.72	55.29	67.39	67.51	64.59	71.17	57.42	50.19	62.25
HfO ₂		1.09	1.37	1.55	1.71	1.44	1.78	1.68	1.53	1.5	2.01
FeO		0.81	0.26	1.02	—	—	—	—	0.58	2.51	0.89
Al ₂ O ₃		—	—	1.59	—	—	—	—	0.46	2.6	0.95
CaO		0.14	—	0.23	—	—	—	—	—	0.22	—
K ₂ O		—	—	0.34	—	—	—	—	0.18	0.77	—
UO ₃		1.23	—	0.7	—	—	0.77	—	1.34	1.44	0.76
Сумма / Total		98.83	99.43	88.26	100.43	100.15	100.13	105.63	89.81	86.19	96.87
Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита Miniseyshorskaya suite									
		безуглеродистые отложения carbon free deposits									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SiO ₂		30.51	30.33	33.66	33.1	33.75	32.19	33.51	36.5	33.7	32.79
ZrO ₂		66.18	65.02	49.71	68.75	66.8	66.87	67.84	64.26	59.99	66.83
HfO ₂		1.48	1.55	1.28	1.98	1.52	0.64	1.81	1.67	1.24	1.08
FeO		—	—	2.65	0.46	0.64	0.46	0.52	0.92	0.85	0.75
Al ₂ O ₃		—	—	5.59	—	0.98	—	—	1.77	3.8	—
CaO		—	—	6.44	—	—	—	—	0.9	3.25	0.34
TiO ₂		—	—	—	—	—	—	—	—	0.42	—
Na ₂ O		—	—	—	—	—	—	—	0.77	—	—
Сумма / Total		98.17	96.89	99.33	104.29	103.69	100.16	103.68	106.79	103.25	101.79



Таблица (продолжение)

Химический состав циркона метаосадочных отложений Полярного Урала, мас.%

Table (continued)

Chemical composition of zircon from metasedimentary deposits of the Polar Urals, wt.%

Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита / Miniseyshorskaya suite									
		безуглеродистые отложения / carbon free deposits									
		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂		33.79	33.25	33.28	33.32	33.55	33.57	33.76	33.96	35.58	35.71
ZrO ₂		65.73	65.43	67.03	67.41	63.23	67.49	67.98	67.82	52.19	59.61
HfO ₂		1.55	1.26	1.41	1.44	1.16	1.82	1.37	1.62	2.06	1.45
FeO		0.48	1.1	0.93	0.67	0.87	0.75	0.86	0.62	2.45	—
Al ₂ O ₃		—	0.77	0.62	0.75	2.11	0.64	—	0.38	6.86	3.03
CaO		1.47	1.17	0.36	0.34	2.05	—	—	—	5.86	1.76
TiO ₂		1.58	0.53	—	—	—	—	—	—	—	0.8
Na ₂ O		—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.59
Сумма / Total		104.6	103.51	103.63	103.93	102.97	104.27	103.96	104.4	105	103.95
Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита / Miniseyshorskaya suite									
		углеродсодержащие отложения / carbon containing deposits									
		41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
SiO ₂		32.8	33.31	34.17	34.11	34.15	32.12	33.97	31.17	32.93	31.36
ZrO ₂		67.19	65.11	46.77	63.63	68.42	54.68	65.11	60.88	63.84	52.27
HfO ₂		1.48	1.23	1.77	1.43	1.22	1.44	1.83	1.1	1.38	0.9
FeO		0.29	1	1.8	1	0.92	2.19	1.73	0.8	1.04	1.08
Al ₂ O ₃		—	0.64	13.68	2.26	—	6.15	0.93	—	1.55	2.95
CaO		—	0.38	—	—	—	0.5	—	—	—	0.36
TiO ₂		0.04	1.25	0.59	0.26	0.03	0.43	0.17	0.08	0.01	0.19
Na ₂ O		—	—	4.47	0.41	—	0.42	—	—	—	1.33
MgO		—	—	—	—	—	0.61	—	—	0.33	—
K ₂ O		—	—	1.58	—	—	0.88	—	—	—	—
Sc ₂ O ₃		—	—	—	0.35	—	—	—	—	—	—
Y ₂ O ₃		—	—	—	—	—	—	—	3.73	—	—
UO ₃		0.24	—	—	1.01	0.87	0.52	0.25	0.11	0.98	0.55
ThO ₂		—	—	—	—	—	—	—	0.77	—	0.53
Сумма / Total		102.04	102.92	104.83	104.46	105.61	99.94	103.99	98.64	102.06	91.52
Компо- ненты Components	Свита Suite	Минисейшорская свита Miniseyshorskaya suite			Немурьюганская свита / Nemuryuganskaya suite						
		углеродсодержащие отл. Carbon containing deposits			безуглеродистые отл. carbon free deposits			углеродсодержащие отл. Carbon containing deposits			
		51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
SiO ₂		36.48	34.88	39.18	30.58	34.60	35.82	25.17	21.56	28.04	28.29
ZrO ₂		60.22	61.06	56.86	66.97	55.62	45.99	51.22	55.57	63.23	58.16
HfO ₂		1.35	1.54	1.3	1.46	1.46	1.10	0.83	—	0.86	1.41
FeO		—	0.62	0.54	—	0.69	1.16	0.29	1.38	—	—
Al ₂ O ₃		—	—	—	—	5.72	8.8	—	0.95	—	0.97
CaO		—	—	—	—	—	0.74	9.47	11.55	5.66	1.91
TiO ₂		0.03	0.11	—	—	0.26	1.11	—	—	—	—
MgO		—	—	—	—	0.62	0.97	6.99	4	—	—
K ₂ O		—	—	—	—	2.43	3.85	—	—	—	—
UO ₃		1.96	0.73	1.11	—	—	—	1.1	3.45	—	0.60
Сумма / Total		100.4	98.94	98.99	99.01	101.41	99.52	95.07	98.46	97.79	91.34



Поверхность цирконов углеродсодержащих пород неровная, на ней отмечаются углубления, сколы, трещины (рис. 2, d—i, рис. 4, рис. 5, с, d). Внутреннее строение неоднородное, с «изъеденными» структурами, трещинами.

Для всех цирконов из верхнепротерозойских отложений, в том числе углеродсодержащих, характерно присутствие HfO_2 , FeO , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 и др.

Во всех углеродсодержащих отложениях изучаемых свит в составе циркона отмечается UO_3 , в химическом составе цирконов из остальных пород он отсутствует (по результатам микрондовых исследований). В породах минисейшорской свиты помимо урана в цирконе присутствуют иттрий, торий и скандий.

Наличие урана в цирконах углеродсодержащих верхнепротерозойских отложений Полярного Урала может быть объяснено следующим образом: 1) циркон мог быть первоначально обогащен ураном, и различия в содержании UO_3 в углеродсодержащих и безуглеродистых отложениях могли быть связаны с различными источниками сноса циркона; 2) изначально циркон углеродсодержащих отложений был деформирован, вследствие чего произошло нарушение решетки циркона и дальнейшее накопление урана связано с гипергенными процессами.

Выводы

Проведенные исследования показали различия в цирконах из метаосадочных, в том числе углеродсодержащих, отложений няровейской серии и немурьюганской свиты Полярного Урала. Кристаллы цирконов из углеродсодержащих метаосадочных отложений, в отличие от безуглеродистых, чаще всего имеют неоднородное внутреннее строение, трещиноватые, разрушенные.

В углеродсодержащих отложениях няровейской серии и немурьюганской свиты в химическом составе циркона отмечается уран. Циркон первоначально мог быть обогащен ураном, либо образование урана в изначально деформированных цирконах могло быть связано с гипергенными процессами. В углеродсодержащих отложениях минисейшорской свиты в цирконах помимо урана присутствует иттрий, торий и скандий.

Исследования проведены в рамках НИР ИГ Коми НЦ УрО РАН ГР № АААА-А17-117121270035-0 и при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований РАН № 18-5-5-19.

Литература

1. Глубинное строение Тимано-Североуральского региона / Отв. редактор А. М. Пыстин. Сыктывкар: Геопринт, 2011. 264 с.
2. Гракова О. В. Рудная минерализация няровейской серии (Полярный Урал) // Известия Коми научного центра УрО РАН. № 2 (34). Сыктывкар, 2018. С. 64—70.
3. Гракова О. В. Термодинамические условия метаморфизма верхнепротерозойских отложений Полярного Урала // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 6 (270). С. 13—19.
4. Гракова О. В., Уляшева Н. С. Металлогенические особенности верхнепротерозойских углеродсодержащих сланцев

няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 9 (254). С. 16—21.

5. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-42-I, II. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 340 с.

6. Пыстина Ю. И., Пыстин А. М. Распределение U и Th в цирконах метаморфических пород и гранитоидов севера Урала // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: 12 Межрегион. науч.-практ. конф.: Сб. ст. Уфа, 2018. С. 294—299.

7. Уляшева Н. С. Геохимические особенности пород немурьюганской свиты (Полярный Урал) // Там же. С. 311—315.

8. Уляшева Н. С., Гракова О. В. Первичный состав пород няровейской серии (Полярный Урал) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 2. С. 24—35.

9. Уляшева Н. С., Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Гракова О. В., Хубанов В. Б. U-Pb LA-SF-ICP-MS-датирование цирконов из верхнепротерозойских отложений Полярного Урала // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы Всерос. науч. конф. с международ. участием. Сыктывкар, 2017. С. 223—224.

10. Hoskin, P. W. O., Schaltegger, Urs. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, vol. 53, no. 1, p. 27—62. DOI: 10.2113/0530027.

11. Whitney, D. L., & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95(1), 185—187. DOI: 10.2138/am.2010.3371.

References

1. Glubinnoe stroenie Timano-Severoural'skogo regiona (Abyssal structure of Timan-Northern Ural region). Ed. A. M. Pystin. Syktivkar: Geoprint, 2011, 264 p.
2. Grakova O. V. Rudnaya mineralizatsiya nyarovejskoy serii (Polyarnyj Ural) (Ore mineralization of nyaroveyskayaseries (Polar Urals). Proceedings of Komi Science Center, 2 (34), Syktivkar, 2018, pp. 64—70.
3. Grakova O. V. Termodinamicheskie usloviya metamorfizma verhneproterozojskikh otlozhenij Polyarnogo Urala (Thermodynamic conditions of metamorphism of Upper Proterozoic deposits of Polar Urals). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2017, No. 6 (270), pp. 13—19.
4. Grakova O. V., Ulyasheva N. S. Metallogenicheskie osobennosti verhneproterozojskikh uglerodsoderzhashchih slancev nyarovejskoy serii (Polyarnyj Ural) (Metallogenic features of Upper Proterozoic shales of nyaroveyskaya series (Polar Urals)). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, No. 9 (254), pp. 16—21.
5. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Uralskaya. Listy Q—42-I, II. Obyasnitelnaya zapiska (State geological map of the Russian Federation, scale 1:200000. Second edition. Polar Ural series. Sheets Q—42-I, II. Explanatory note). St. Petersburg: VSEGEI, 2007, 340 pp.
6. Pystina Yu. I., Pystin A. M. Raspredelenie U i Th v cirkonah metamorficheskikh porod i granitoidov Severa Urala (U and Th distribution in zircons of metamorphic rocks and greanitoids of the North of the Urals). Proceedings of 12th conference «Geologiya,



poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredelnyh territorij. Ufa, 2018, pp. 294–299.

7. Ulyasheva N. S. *Geokhimicheskie osobennosti porod nemuryuganskoy svity (Polyarnyj Ural)* (Geochemical features of rocks of nemuryuganskaya suite (Polar Urals)). Proceedings of 12th conference «*Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredelnyh territorij*». Ufa, 2018, pp. 311–315.

8. Ulyasheva N. S., Grakova O. V. *Pervichnyj sostav porod nyarovejskoj serii (Polyarnyj Ural)* (Primary compositions of nyaroveyskaya series (Polar Urals)). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2016, No. 2, pp. 24–35.

9. Ulyasheva N. S., Pystin A. M., Pystina Yu. I., Grakova O. V., Hubanov V. B. *U–Pb LA-SF-ICP-MS datirovanie cirko-*

nov iz verhneproterozojskih otlozhenij Polyarnogo Urala (U–Pb LA-SF-ICP-MS dating of zircons from Upper Proterozoic deposits of Polar Urals). Proceedings of conference «*Geodinamika, veshchestvo, rudogenez vostochno-evropejskoj platformy i ee skladchatogo obramleniya*» (Geodynamics, substance, ore genesis of East European platform and its folded margin). Syktyvkar, 2017, pp. 223–224.

10. Hoskin, P. W. O., Schaltegger, Urs. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 2003, V. 53, No. 1, p. 27–62. DOI: 10.2113/0530027.

11. Whitney, D. L., & Evans, B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 2010, 95(1), 185–187. DOI: 10.2138/am.2010.3371.



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.733.33 (234.851)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-11-31-37

БИОСТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ И СОБЫТИЙНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ РУБЕЖ ЛУДЛОВА И ПРЖИДОЛА НА ЗАПАДНОМ СКЛОНЕ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА

Т. М. Безносова, В. А. Матвеев, Л. В. Соколова

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

beznosova@geo.komisc.ru

Представлены новые результаты изучения геологического строения отложений верхнего силура на западном склоне Приполярного Урала. Обобщение полученных биоседиментологических и геохимических данных позволило обосновать биостратиграфический и событийно-стратиграфический рубеж лудлова и пржидола и перерыв в осадконакоплении в конце лудлова, что дает возможность для пересмотра существующей корреляции пограничных отложений лудлова и пржидола с одновозрастными отложениями Эстонии.

Ключевые слова: брахиоподы, конодонты, лудлов, пржидол, изотопы $\delta^{13}C$.

BIOSTRATIGRAPHICAL AND EVENT-STRATIGRAPHICAL BOUNDARY OF THE LUDLOW AND PRIDOLI ON THE WESTERN SLOPE OF SUBPOLAR URALS

T. M. Beznosova, V. A. Matveev, L. V. Sokolova

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The new results of studying of the geological structure of the Upper Silurian deposits on the Western slope of the Subpolar Urals are presented. Data analyses and synthesis allow us to establish bio- and event-stratigraphical boundary of the Ludlow-Pridoli and discover disconformity at the terminal Ludlow. These results suggest revision of the correlation of the Ludlow-Pridoli boundary beds of the Subpolar Urals and Estonia.

Keywords: brachiopods, conodonts, Ludlow, Pridoli, $\delta^{13}C_{carb}$.

Введение

История изучения стратиграфии силура и фауны нижнего палеозоя Европейского Северо-Востока России (северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия) и создания шкалы региональных горизонтов подробно изложена в монографиях [3, 16].

В региональной стратиграфической схеме Урала, принятой на IV Уральском межведомственном стратиграфическом совещании в 1991 г., верхнему лудлову соответствует сизимский горизонт (Ludfordian). Пржидолу соответствует гребенской надгоризонт, который подразделен на два горизонта — белушьянский и карповский. Граница лудлова и пржидола принята в основании характерных комковатых известняков белушьянского горизонта (падимейтивисская свита), в которых повсеместно различима терригенная или терригенно-карбонатная пачка. На Новой Земле, о. Вайгач и о. Долгом это алевролиты и аргиллиты с прослоями и линзами брахиоподовых ракушечников (25—35 м), на западном склоне Приполярного Урала — аргиллиты, алевролиты и известняки с брахиоподами — 1.4 м [13, 15, 18, 19]. Обоснованием такого положения границы лудлова и пржидола, или сизимского и белушьянского горизонтов (сизимская и целебейская свиты), послужили и результаты изучения брахиопод из пограничного интервала, в котором Т. Л. Модзалевская установила крупный рубеж в эволюции атиридид *Didymothyris* и *Collarothyris* [15]. По

С. В. Черкесовой [19], в Уральско-Новоземельской области обновление комплекса фауны начинается именно с аргиллитовой пачки, формирование которой совпадает с новым пржидольским этапом осадконакопления [15].

В объяснительной записке к стратиграфическим схемам Урала отмечено, что сложность определения границы между лудловым и пржидолом в разрезе силура в пределах Михайловско-Вайгачской структурно-формационной зоны связана с тем, что комплекс брахиопод и другой фауны, характеризующий разрезы региональных горизонтов (белушьянского и карповского), не содержит остатки фауны, характерные для пржидола в глобальном стратотипе Чехии [1, 2, 15].

Другой подход к определению рубежа между лудловым и пржидолом в разрезах западного склона Урала был предложен Т. Л. Модзалевской [11, 20], установившей в кубинских и демидских слоях Уфимского амфитеатра смену брахиоподовых ассоциаций, аналогичную той, что известна для пограничных отложений лудлова и пржидола на западном склоне Приполярного Урала, но где вместе с лудловскими брахиоподами *Didymothyris didyma* (Dalman) и характерными для белушьянского горизонта пржидола *Collarothyris canaliculata* (Wenjukov) были обнаружены остатки позвоночных, сходные с комплексом позвоночных лудловской зоны *Andreolepis hedei* в Эстонии [12]. На основании этих совместных находок позво-

ночных и брахиопод был сделан вывод о лудловском возрасте нижней части гребенского горизонта (= белушьянского горизонта), скореллированного с лудфордом общей шкалы [11, 12, 20]. Положение границы лудлова и пржидола на западном склоне Урала было определено в кровле брахиоподовой зоны *Collarothyris canaliculata canaliculata* [11, 12]. Принимая такое положение границы за основу, целый ряд публикаций приводят описания глобального лудфордского события Lau (Lau Event) в интервале разреза белушьянского горизонта на западном склоне Приполярного Урала [11, 21 и др.].

Можно предположить, что находки остатков лудловских позвоночных совместно с пржидольскими брахиоподами, на основании которых был сделан вывод о лудловском возрасте нижней толщи белушьянского горизонта пржидола [10, 12], связаны со сложным геологическим строением разреза верхнего силура в Уфимском амфитеатре и перерывом в осадконакоплении [17].

Д. К. Патрунов и М. В. Шурыгина [17], отмечая вновь проведенные активные исследования осадочных толщ силура Уфимского амфитеатра и значительно возросшую их детальность, приводят послойное палеонтологически обоснованное описание кубинских слоев сизимского горизонта лудлова и демидских слоев белушьянского горизонта пржидола в соответствии с существующей региональной стратиграфической схемой Урала [15].

Цель настоящей статьи — оценить изменения биологического разнообразия, обусловленные сменой режима осадконакопления, стрессовым палео-

экологическим воздействием в позднем лудлове, связанные с региональным проявлением глобального события Лау, и восстановление биоты в раннем пржидоле, а также уточнить хроностратиграфическую последовательность пограничных отложений сизимского и белушьянского горизонтов.

Разрез (обнажение 236) в бассейне р. Кожым на Приполярном Урале, в котором вскрываются в непрерывной последовательности пограничные отложения лудлова и пржидола, предлагается нами в качестве регионального гипостратотипа границы лудлов — пржидол.

Материалы и методы исследования

Материалом для статьи послужили имеющиеся у авторов и вновь собранные коллекции брахиопод из обнажения 236, в бассейне р. Кожым (рис. 1), а также опубликованные определения остракод, изученных А. Ф. Абушиком, и конодонтов, описанных С. В. Мельниковым [16]. Определения брахиопод выполнены Т. М. Безносовой, позвоночных — Т. Мясрсс, конодонтов — Л. В. Соколовой и П. Мянником.

История изучения и значимость результатов ранее проведенных исследований рассматриваемого здесь разреза сизимского горизонта (обн. 236), выбранного в качестве опорного для верхнего силура всей территории Европейского Северо-Востока России, приведены в монографиях [3, 6, 16].

Во время полевых работ П. Мянником и В. А. Матвеевым было проведено послойное описание разреза и собраны коллекции более 100 образцов пород с остатками ископаемой макрофауны, 22 пробы на конодон-

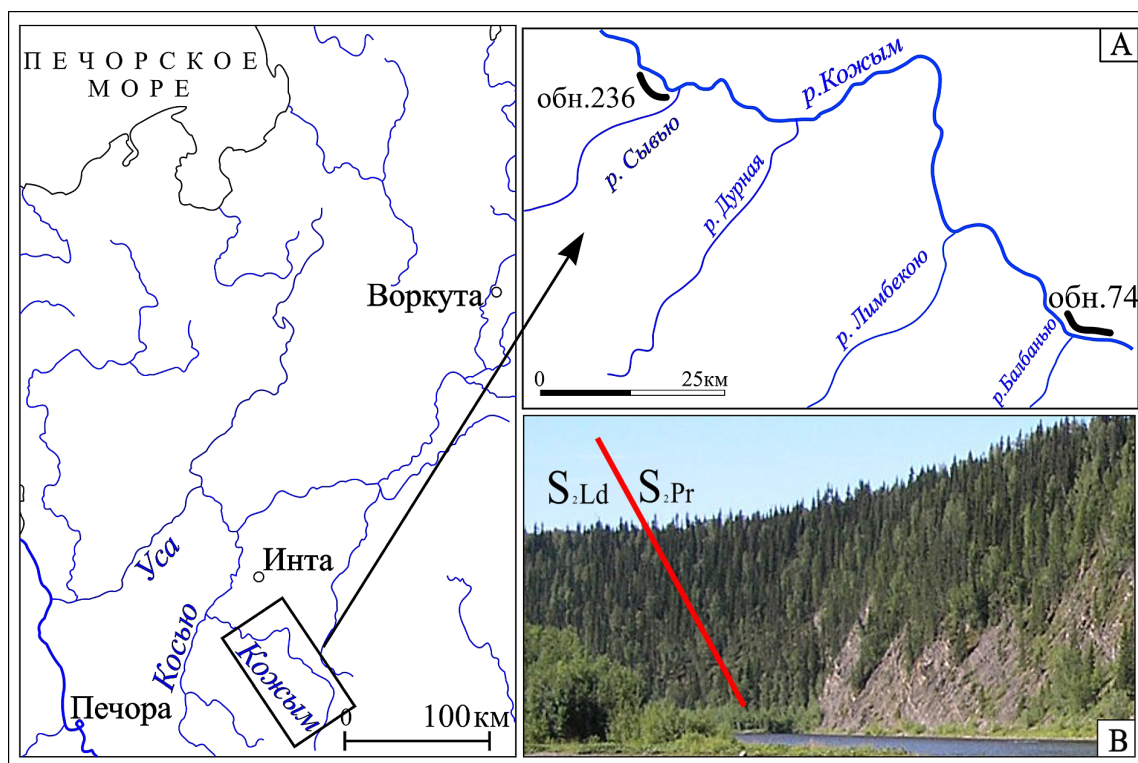


Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов (А) и общий вид обнажения 236 (В) (обнажение 236 — широта 65°40'0.86"С, долгота 59°45'2.09"В; обнажение 74 — широта 65°22'15.33"С, долгота 60°46'40.24"В)

Fig. 1. Location of the study section and overview of the outcrop #236 (outcrop #236 — N 65°40'0.86" E 59°45'2.09"; outcrop #74 — N 65°22'15.33" E 60°46'40.24")



ты и другую микрофауну, 98 проб на изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$. Также был вскрыт ранее не изучавшийся интервал разреза верхнего лудлова мощностью более 16 м.

Определение изотопного состава углерода в карбонатных породах проведены И. В. Смолевой в ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН им. академика Н. П. Юшкина на масс-спектрометре DELTA V Advantage. Значение изотопных коэффициентов определялись в промилле (‰) по стандартам PDB NBS18 и NBS19 (TS-limestone) для углерода. Погрешность определения обоих коэффициентов не превышала ± 0.1 ‰. Изотопный состав углерода определен в 98 образцах (шаг отбора 50 см).

Коллекции хранятся в Музее им. А. А. Чернова Института геологии Коми НЦ УрО РАН им. академика Н. П. Юшкина (колл. № 514 — литологические образцы и шлифы; колл. № 368 — брахиоподы; колл. № 693 — конодонты; колл. № 654 — позвоночные).

Стратиграфия пограничных отложений лудлова и пржидола

Сизимский горизонт (= сизимская свита) верхнего лудлова в пределах Тимано-Североуральского региона представлен преимущественно терригенно-карбонатными, а также рифовыми биогермными толщами, которые формировались в краевой части шельфа, разделяя отложения мелководного шельфа и континентального склона в восточной части Тимано-Североуральского морского палеобассейна, на территории современного Предуралья, на краевой прогиба и западного склона Урала. Рифовые постройки активно влияли на дифференциацию экологических ниш. В результате в позднем лудлове обособились две экосистемы — ровного дна мелководного шельфа и рифовая.

Терригенно-карбонатный разрез сизимского горизонта сложен чередованием известняков зеленовато-серых, алевролитов, темно-серых тонкоплитчатых глинистых и микрозернистых и доломитов серых и голубовато-серых, заключающих прослои с остатками рогов, брахиопод и обилием остракод. По заключению А. Ф. Абушик, ассоциации сизимских остракод насчитывают 23 вида, относящихся к 12 родам [16].

Остатки позвоночных *Phlebolepis elegans* Pander, пандемичных конодонтов *Polygnathoides siluricus* (Branson et Mehl) и брахиопод *Didymothyris didyma* (Dalman), присутствующие в отложениях сизимского горизонта, позволяют определить его позднелудловский (лудфордский) возраст [6]. Представители рода *Didymothyris* широко распространены в отложениях верхнего лудлова на Европейском Северо-Востоке России [3], Сибири [7], о. Готланд [22], Эстонии, Украине [10]. Впервые на Полярном Урале конодонты *P. siluricus* были обнаружены В. Н. Пучковым [18], а на Приполярном Урале — С. В. Мельниковым [15]. Известно, что с окончанием существования *P. siluricus* в позднем лудлове соотносится начало глобального события Лау (Lau Event) [см. ссылки в публикации 5].

Конодонты сизимского горизонта Тимано-Североуральского региона характеризуются космополитными родами *Ozarkodina*, *Oulodus*, *Ctenognathodus*, *Polygnathoides*, *Wurmiella* и *Panderodus* и эндемичными

Adctenognathodus Melnikov и *Adoulodus* Melnikov. Род *Adctenognathodus* впервые был установлен в основании палимевитвисской свиты лудлова С. В. Мельниковым [6].

Основу бентосных сообществ ровного дна в терригенно-карбонатных отложениях сизимского горизонта составляли брахиоподы *Didymothyris didyma* (Dalman), представители отряда Athyridida. Единичные экземпляры *D. didyma* обнаружены и в рифогенной лудловской толще на Северном Урале вместе с *Conchidium novosemelicum* [3, 4].

В Тимано-Североуральском бассейне существование брахиопод отряда Pentamerida в лудловское время было связано только с рифовыми постройками [4]. На Приполярном Урале рифогенная толща с захоронениями многих сотен раковин *C. novosemelicum* — последних силурийских представителей отряда пентамерид — находится в бассейне р. Кожим в обнажении 74 (рис. 1), которое расположено в 57 км вверх по реке от обнажения 236 (рис. 1). Это захоронение является свидетельством массовой гибели брахиопод, очевидно связанной с низким стоянием уровня моря и нарушением рифовой экосистемы. Масштабное вымирание пентамеровых сообществ брахиопод в конце лудлова получило название «событие Pentamerida» (Pentamerida Event) [22].

Терригенно-карбонатный разрез сизимского горизонта лудлова и белушьянского горизонта пржидола (обнажение 236) расположен в залесенной части высокого левобережного склона р. Кожим, в 700 м ниже устья притока р. Сывью (рис. 1). Мощность рассматриваемых пограничных отложений сизимского горизонта и белушьянского горизонта в этом разрезе составляет 24 м (рис. 2).

Интервал разреза сизимского горизонта (15.5 м) характеризуется отчетливым проявлением седиментационных признаков обмеления вверх по разрезу — чередованием известняков строматолитовых, оолитовых, микробиально-сгустковых и доломитов с прослоями плоскогалечных конгломератов, с трещинами усыхания, биоморфных, органо-генно-детритовых, лито- и биокластовых с переотложенной галькой известнякового состава [9]. Органические остатки (брахиоподы, остракоды, гастроподы, членики криноидей, позвоночные) приурочены почти исключительно к слоям известняков. Комплекс конодонтов этого интервала сизимского горизонта представлен 6 видами, относящимися к 4 родам, и включает космополитные таксоны *Ozarkodina confluens* (Branson et Mehl), *Wurmiella excavata* (Branson et Mehl), *Wurmiella* cf. *excavata* (Branson et Mehl), *Panderodus uncostatus* Branson et Mehl и таксоны, известные в настоящее время только на территории Тимано-Североуральского региона — *Adctenognathodus*, *Wurmiella* aff. *hamata* (Walliser) (рис. 2). Сизимский горизонт венчает прослой красноцветно-пестроцветных глин, фиксирующих завершающую регрессивную фазу развития бассейна в лудлове.

Наблюдаемые в разрезе сокращение таксономического разнообразия бентосной биоты и увеличение мощности слоев со строматолитами в верхней части разреза (рис. 2, А) свидетельствуют о крупной экосистемной перестройке в конце лудлова, завершившейся исчезновением лудловских брахиопод, остракод,

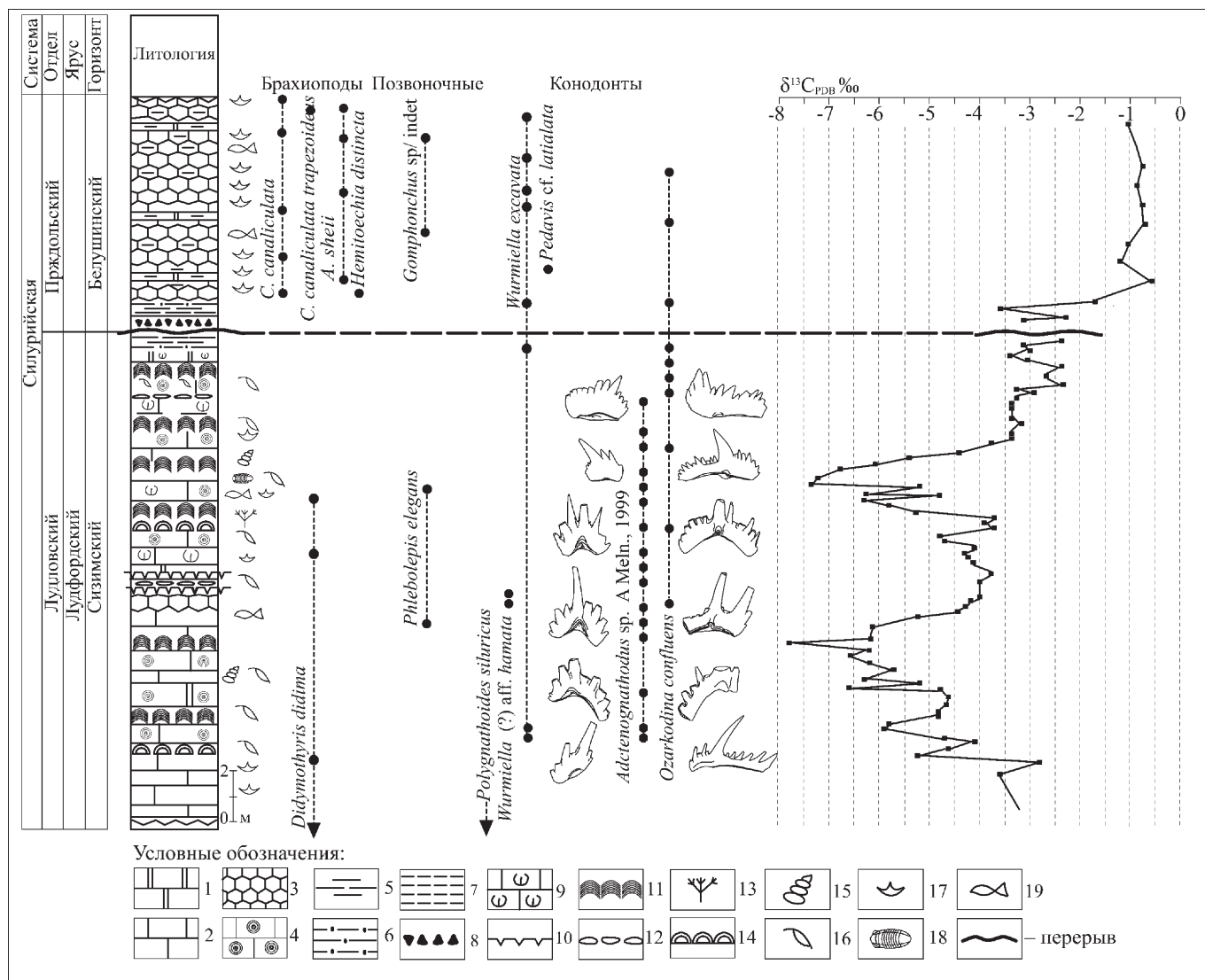


Рис. 2. Распространение фауны и распределение $\delta^{13}C$ в обнажении 236 (р. Кожым). Условные обозначения: 1 — доломит; 2 — известняк; 3 — известняк комковатый; 4 — известняк оолитовый; 5 — известняк глинистый; 6 — известняк алевроитовый; 7 — аргиллиты; 8 — брекчии; 9 — известняк полибиокластовый; 10 — трещины усыхания; 11 — строматолиты; 12 — плоскогалеchnый конгломерат. Органические остатки: 13 — цианобактерии; 14 — строматопороидеи; 15 — гастроподы; 16 — остракоды; 17 — брахиоподы; 18 — трилобиты; 19 — позвоночные

Fig. 2. Distribution of fossils and $\delta^{13}C$ values in the section #236 (Kozhym River). Legend: 1 — dolostone; 2 — limestone; 3 — knobby limestone; 4 — oolitic limestone; 5 — clayey limestone; 6 — silty limestone; 7 — claystone; 8 — breccia; 9 — polybioclastic limestone; 10 — cracks; 11 — stromatolithes; 12 — slabby conglomerate. Fossils: 13 — cyanobacteria; 14 — stromatoporoidea; 15 — gastropods; 16 — ostracodes; 17 — brachiopods; 18 — trilobites; 19 — vertebrates

конодентов *Adctenognathodus* и перерывом в осадконакоплении. Граница между отложениями лудлова и прждидола установлена в кровле прослоя красноцветно-пестроцветных глин (рис. 2, 3).

Известно, что перерывы в осадконакоплении являются наиболее четкими рубежами, по которым устанавливаются границы местных стратиграфических подразделений. О том, что максимум падения относительного уровня моря в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции приходится на окончание лудлова и проявляется субаэральным размывом верхней части разреза лудлова, упоминал ранее А. В. Мартынов [8].

Переход от лудлова к прждидолу в обнажении 236 литологически фиксируется терригенно-карбонатной пачкой, которая залегает выше пестроцветных глин и отвечает новому циклу осадконакопления (рис. 3, В).

Трансгрессия в начале прждидола способствовала переносу обломочного материала рифовых построек в более мелководную часть морского бассейна, ближе к береговой линии.

Палеонтологически этот переход характеризуется обновленным составом брахиопод, остракод, позвоночных и исчезновением лудловских конодентов *Adctenognathodus*.

Белушинский горизонт (= целебейская свита)

Рассматриваемый интервал разреза белушинского горизонта (8.5 м) в обнажении 236 в самом основании сложен доломитами известковыми с крупными литокластами, ориентированными по напластованию пород (рис. 3, С). Выше следует пачка черных известняков с прослоями черных углистых аргиллитов и аргиллитов зеленовато-серых с брахиоподами *Hemiteochia*

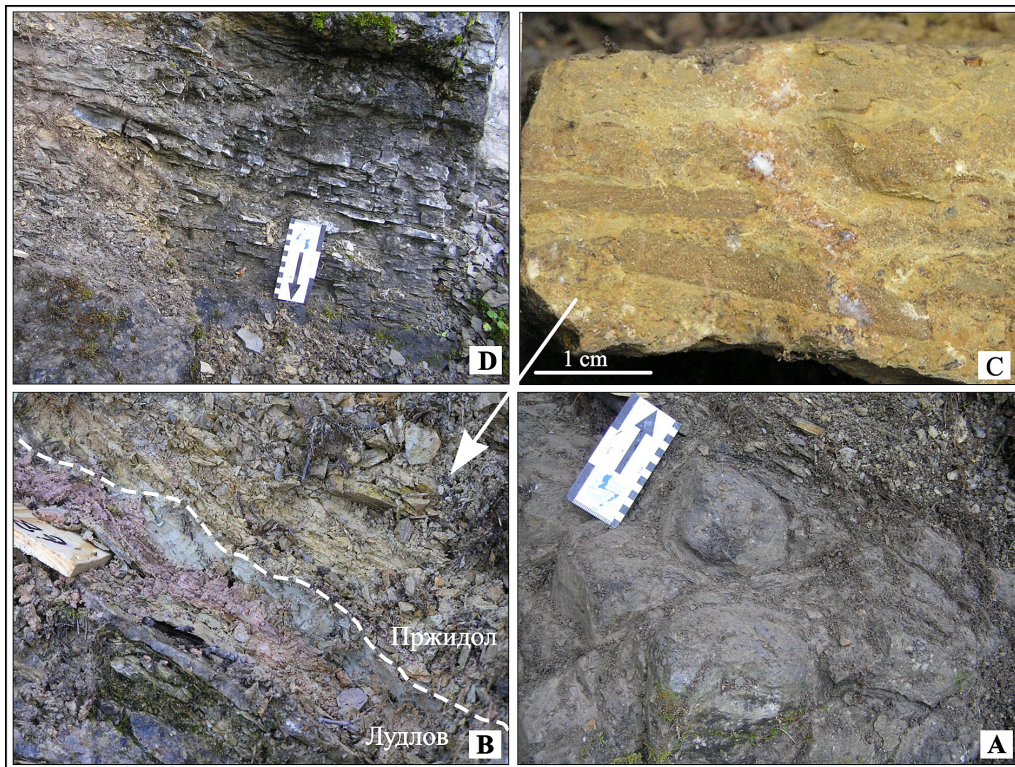


Рис. 3. Пограничные отложения лудлова и пржидола в опорном разрезе силура (обнажение 236, р. Кожым): А — куполовидные строматолиты (слой 64, сизимский горизонт), В — граница лудлова и пржидола (слой 68); С — прослой с крупнообломочным материалом (слой 68а, белушинский горизонт), D — переслаивание черных углистых аргиллитов, алевролитов, известняков плитчатых и комковатых с брахиоподами *Hemitoechia distincta* и *Collarothyris canaliculata* (слой 72, белушинский горизонт)

Fig. 3. Ludlow/Pridoli boundary beds in the Silurian reference section (section #236, Kozhym River). A — dome-like stromatolites (bed 64, Sizim Horizon), B — Ludlow/Pridoli boundary (bed 68); C — coarse-grained layer (bed 68a, Belush'ya Horizon); D — intercalation of black carbonaceous claystone, siltstones, and limestones with the brachiopods *Hemitoechia distincta* and *Collarothyris canaliculata* (bed 72, Belush'ya Horizon)

distincta Nikiforova, которую перекрывают известняки темно-серые до черных, комковатые (рис. 3, D), включающие ракушники с брахиоподами *Collarothyris canaliculata* (Wenjukov), *Atrypodea sheii* (Holtedahl), *Howellella pseudogibbosa* Nikiforova, *Pseudohomeospira polaris* Nikiforova. Эта ракушняковая толща в нижней части белушинского горизонта образует четкие маркирующие брахиоподовые слои, которые прослеживаются в разрезах Приполярного и Северного Урала, на поднятиях Чернова и Чернышева, а также многочисленных скважинах, пробуренных на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [3]. Впервые такой же комплекс брахиопод, отличающийся лишь большим разнообразием представителей рода *Atrypodea*, был описан О. И. Никифоровой из нижней толщи гребенского надгоризонта пржидола (слои губы Белушней о. Вайгач), получившей название «брахиоподовые слои» [14, 19].

Комплекс конодонтов в основании белушинского горизонта представлен в основном видами широкого географического распространения *Wurmiella excavata* (Branson et Mehl), *Ozarkodina confluens*, *Pedavis cf. latialata* (Walliser), *Oulodus cf. siluricus* (Branson et Mehl), *Panderodus unicastatus* (Branson et Mehl), *Panderodus* spp.

Глобальное раннепржидольское событие (Lower Pridolian Event) ознаменовалось системной перестройкой, связанной с океанографическими и клима-

тическими изменениями на рубеже лудлова и пржидола [2]. Это событие прослеживается в разрезах на северо-востоке Евразии, островах России (Вайгач, Новая Земля), арктических островах Канады, Аляски и Эстонии [1, 2, 3, 14, 13, 19].

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о глобальном характере биотических перестроек в позднем лудлове и начале пржидола, следы которых сохранились в опорном разрезе верхнего силура на западном склоне Приполярного Урала [5].

Изотопный состав углерода

Изотопная характеристика карбонатов пограничных отложений лудлова и пржидола в обнажении 236 показала, что они характеризуются величинами $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ в пределах от -7.9 до -1.8 ‰. На изотопно-углеродной кривой выделяются два интервала с резкими отрицательными пиками $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ (рис. 2) в разрезе верхнего лудлова.

Карбонаты, относящиеся к пржидольской части разреза, характеризуются величинами $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ от -3.6 до -0.6 ‰. В нижней части пржидола фиксируется резкое смещение кривой от отрицательных величин $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ в сторону положительных значений с амплитудой колебаний 3 ‰. Выше значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ достаточно постоянны. Они характеризуются постепенным утяжелением изотопного состава углерода до -1.0 ‰, задающим тренд положительного направления кри-

вой. Значения этого интервала приходятся на слои известняков с характерной комковатой отдельностью, заключающих разнообразную фауну пржидольского возраста (рис. 2).

Таким образом, кривая изотопного состава углерода лежит в области негативных значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ с двумя отрицательными экскурсами. Резкие понижения $\delta^{13}\text{C}_{\text{карб}}$ в первом и втором интервалах (до $-7.9...-7.4$) указывают на значительные изменения в характеристике среды седиментации в Тимано-Североуральском морском бассейне.

Заключение

Падение уровня моря, широкое развитие строматолитообразующей биоты, сокращение биоразнообразия, прекращение силурийского рифообразования, вымирание брахиопод *Pentamerida*, исчезновение конодонтов рода *Adctenognathodus* в конце лудлова, а также смена доминантов в фаунистических сообществах в начале пржидола отражают общую реакцию плеченогих, остракод, конодонтофорид и микробиальных на особенности условий обитания в позднем лудлове и на рубеже лудлова и пржидола в Тимано-Североуральском морском палеобассейне.

Биотический кризис, сопровождавшийся стрессовым палеоэкологическим воздействием и вымиранием, которое охватило в первую очередь высокоспециализированные бентосные сообщества рифовых построек, был обусловлен не только регрессией морского бассейна, достигшей максимума в конце лудлова, но и глобальными изменениями климатических условий.

Проведенные исследования существенно дополнили палеонтологическую, литологическую, био-стратиграфическую характеристики опорного разреза верхнего силура. Установленная последовательность остатков фауны в пограничных отложениях лудлова и пржидола, хеомстратиграфический анализ и прерыв в осадконакоплении, предшествующий образованию пржидольских пород, позволят найти новое обоснованное решение проблемы межрегиональной корреляции.

Авторы выражают благодарность П. Мяннику за совместное изучение разреза, определение конодонтов и обсуждение результатов, Т. Мярсс — за определения остатков позвоночных, А. В. Журавлеву — за ценные советы и замечания и И. В. Смолевой, инженеру ЦКП «Геонаука» Института геологии Коми НЦ УрО РАН — за определение изотопного состава углерода в карбонатных породах.

Литература

1. Баранов В. В. Глобальные события (Lower Pridolian и Klonk) в среднем палеозое северо-востока Евразии и на сопредельных территориях // Наука и образование. 2015. № 3 (79). С. 33—37.
2. Баранов В. В., Блоджетт Р. Б. Корреляция пржидольских отложений (верхний силур) арктических регионов Евразии и Северной Америки // Отечественная геология. 2013. № 5. С. 52—57.
3. Безносова Т. М. Сообщества брахиопод и био-стратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона на северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 218 с.
4. Безносова Т. М. История развития пентамерид (brachiopoda) в Тимано-Североуральском бассейне // Палеонтологический журнал. 2014. № 1. С. 49—54.
5. Безносова Т. М., Матвеев В. А., Соколова Л. В., Канев Б. И. Региональное проявление глобального лудфордского события (Lau Event) в разрезе западного склона Урала // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы Всерос. науч. конф. с международ. участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. С. 19—21.
6. Жемчугова, В. А., Мельников, С. В., Данилов, В. Н. Нижний палеозой Печорского нефтегазоносного бассейна (строение, условия образования, нефтегазоносность). М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 110 с.
7. Кульков Н. П., Перегудов Л. Г. Тип Brachiopoda // Стратиграфия палеозойских отложений юго-востока Западно-Сибирской плиты. Новосибирск: Наука, 1990. С. 70—106.
8. Мартынов А. В. Литолого-фациальные критерии прогноза нефтегазоносности ордовикско-нижнедевонских отложений Тимано-Печорской провинции: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. СПб., 1993. 29 с.
9. Матвеев В. А., Канев Б. И. Особенности строения верхнелудловских отложений в опорном разрезе силура на западном склоне Приполярье Урала // Вестник ИГ Коми НЦ. 2016. № 8. С. 3—8.
10. Модзалевская Т. Л. Брахиоподы силура и раннего девона европейской части СССР. Отряд Athyridida. М., 1985. 128 с.
11. Модзалевская Т. Л. Среднелудфордское событие в эволюции силурийских брахиопод Европейской провинции // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1997. Т. 3 С. 3—9.
12. Модзалевская Т. Л., Мярсс Т. О возрасте подошвы гребенского горизонта Урала // Изв. АН Эстонии. Геол. 1991. 40. № 3. С. 100—103.
13. Нехорошева Л. В., Патрунов Д. К. Гребенской горизонт Вайгачско-Новоземельского региона // Сов. геология. 1981. № 4. С. 80—85.
14. Никифорова О. И. Брахиоподы гребенского горизонта Вайгача (поздний силур) // Стратиграфия и фауна силурийских отложений Вайгача. Л., 1970. С. 97—149.
15. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (докембрий, палеозой) / Н. Я. Анцыгин. Екатеринбург, 1994. 152 с.
16. Опорные разрезы пограничных отложений силура и девона Приполярье Урала / В. С. Цыганко, В. А. Чермных. Сыктывкар, 1983. 136. С. 19.
17. Патрунов Д. К., Шурыгина М. В. Силур и ранний девон в уфимском амфитеатре // Литосфера. 2002. № 2. С. 96—111.
18. Пучков В. Н. Батинальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 1979. 242 с.
19. Черкесова С. В. Гребенской горизонт силура Вайгача // Стратиграфия и фауна силурийских отложений Вайгача. Л., 1970. С. 4—24. (Тр. Научно-исслед. ин-та геологии Арктики).
20. Antoshkina A. I., Beznosova T. M., Mannik P., Matukhin R. G., Menner V. V., Modzalevskaya T. L. Correlation of the Silurian sequence of the Timan-northern Ural region with the Baltic sections and with the international standard // Pan-Arctic Palaeozoic tectonics, evolution of basins and faunas. Syktyvkar, Russia, 2000. P. 17—21.



21. Bassett M. G., Cocks L. R. M. A review of Silurian brachiopoda from Gotland. Oslo: Universitetsforl., 1974. 56 p. (Fossil and Strata; N 3).

22. Talent JA, Mawson R, Andrew AS, Hamilton PJ, Whitford DJ. Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data // Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol. 1993.104. P. 139—152.

References

1. Baranov V. V., Blodgett R. B. *Korrelyatsiya przhidol'skikh otlozheniy (verkhniy silur) arkticheskikh regionov Yevrazii i Severnoy Ameriki* (Correlation of the Pridolian beds (upper Silurian) of the Arctic regions of Eurasia and North America). *Otechestvennaya geologiya*. 2013, No. 5, pp. 52—57.

2. Baranov V. V. *Global'nyye sobytiya (Nizhniy Pridol'skiy i Klonk) v srednem paleozoye severo-vostoke Yevrazii i na sopredel'nykh territoriyakh* (Global events (Lower Pridolsky and Klonk) in the Middle Paleozoic in the northeast of Eurasia and in adjacent territories). *Nauka i obrazovaniye*, 2015, No. 3 (79), pp. 33—37.

3. Beznosova T. M. *Soobschestva 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.

4. Beznosova T. M. *Istoriya razvitiya pentamerid (brachiopoda) v Timano-Severoural'skom bassejne* (Evolutionary history of pentamerids (Brachiopoda) in the Timan-North Ural Basin). *Paleontological Journal*, 2014, V. 48, No. 1, pp. 47—52. (doi: 10.1134/s0031030114010031).

5. Beznosova T. M., Matveev V. A., Sokolova L. V., Kanev, B. I. *Regional'noye proyavleniye global'nogo ludfordskogo sobytiya (Lau Event) v razreze zapadnogo sklona Urala* (Regional traces of the global Ludfordian Event (Lau Event) from the outcrop of the Western slope of the Subpolar Urals). *Geodinamics, substance, ore genesis of the East European Platform and its folder framing: Extended of scientific conference reports*. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2017, pp. 19—21.

6. Zhemchugova V. A., Mel'nikov S. V., Danilov V. N. *Nizhniy paleozoy Pechorskogo neftegazonosnogo bassejna (stroenie, usloviya obrazovaniya, neftegazonosnost')* (Low Paleozoic Pechora petroleum basin (structure, formation conditions, oil and gas potential)). Moscow, 2001, 110 pp.

7. Kul'kov N. P., Peregoyedov L. G. *Tip Brachiopoda (Brachiopods). Stratigrafiya paleozoyskikh otlozheniy yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy plity* (Stratigraphy of Paleozoic deposits of Western-Siberian plate). Novosibirsk: Nauka, 1990, pp. 70—106.

8. Martynov A. V. *Litologo-fatsial'nyye kriterii prognoza neftegazonosnosti ordoviksko-nizhnedevonskikh otlozheniy Timano-Pechorskoy provintsii* (Lithological and facies criteria for prognosis the oil and gas content of the Ordovician-Lower Devonian deposits of the Timan-Pechora province). Extended abstract of PhD thesis (geology and mineralogy). St. Petersburg, 1993, 29 pp.

9. Matveev, V. A., Kanev, B. I. *Osobennosti stroyeniya verkhneludlovskikh otlozheniy v opornom razreze silura na zapadnom*

sklone Pripolyarnogo Urala (Features of the upper Ludlow deposits in the Silurian key section on the western slope of the Subpolar Urals). *Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS*, 2016, No. 8, pp. 3—8. (doi:10.19110/2221-1381-2016-8-3-8).

10. Modzalevskaya T. L. *Brachiopody silura i rannego devona yevropeyskoy chasti SSSR. Otryad Atiridida* (Silurian and the Early Devonian brachiopods from the European part of the USSR. Order Atiridida). Moscow, 1985, 128 pp.

11. Modzalevskaya T. L. *Sredneludfordskoye sobytiye v evolyutsii siluriyskikh brachiopod Yevropeyskoy provincii* (The middle ludfordian event in the silurian evolution of brachiopods of the European province). *Stratigraphy and geological correlation*, 1997, V. 3, pp. 3—9.

12. Modzalevskaya T. L., Märss T. *O vozraste podoshvy grebenskogo gorizonta Urala*. (On the age of the lower boundary of the greben regional stage of the Urals). *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences: Geology*, 1991, 40, No.3, pp.100—103.

13. Nekhorosheva L. V., Patrunov D. K. *Grebenskoj gorizont Vaygachsko-Novozemel'skogo regiona* (Greben' stage of the Island Vaygach-Novaya Zemlya region). *Sov. Geologiya*, 1981, No. 4, pp. 80—85.

14. Nikiforova O. I. *Brachiopody grebenskogo gorizonta Vaygacha (pozdniy silur) Stratigrafiya i fauna siluriyskikh otlozheniy Vaygacha* (Brachiopods of Greiben' stage of the island Vaygach (Late Silurian). *Stratigraphy and fauna of Silurian deposits of Vaygach*). Leningrad, 1970, pp. 97—149.

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

16. *Opornye razrezy verkhnego ordovika i nizhnego silura Pripolyarnogo Urala* (Upper Ordovician and Silurian outcrops of Subpolar Urals). Komi branch AS USSR, 1987, 34 pp.

17. Patrunov D. K., Shurygina M. V. *Silur i rannij devon v uphiskom amphitatre* (Silurian and Early Devonian deposits of the Ufa Amphitheater). *Litosfera*, 2002, No. 2, pp. 96—111.

18. Puchkov V. N. *Batialnye komplekсы passivnykh okrain geosinklinalnykh oblastej* (Batial complexes of passive margins of geosynclinal regions). Moscow: Nauka, 1979, 242 pp.

19. Cherkesova S. V. *Grebenskoj gorizont silura Vaygacha (Silurian Greben stage of the island Vaygach)*. *Stratigraphy and fauna of Silurian deposits of Vaygach*. Leningrad, 1970, pp. 4—24. (Proceedings of the Scientific Research Institute of Geology of the Arctic).

20. Antoshkina A. I., Beznosova T. M., Mannik P., Matukhin R. G., Menner V. V., Modzalevskaya T. L. Correlation of the Silurian sequence of the Timan-northern Ural region with the Baltic sections and with the international standard. *Pan-Arctic Palaeozoic tectonics, evolution of basins and faunas*. Syktyvkar, Russia, 2000, pp. 17—21.

21. Bassett M. G., Cocks L. R. M. A review of Silurian brachiopoda from Gotland. Oslo: Universitetsforl., 1974, 56 p. (Fossil and Strata; N 3).

22. Talent JA, Mawson R, Andrew AS, Hamilton PJ, Whitford DJ. Middle Palaeozoic extinction events: faunal and isotopic data. *Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol.*, 1993, 104, pp. 139—152.

БИОРАЗНООБРАЗИЕ ВЕРХНЕОРДОВИКСКОГО РИФА БОЛЬШАЯ КОСЬЮ (СЕВЕРНЫЙ УРАЛ)

Л. А. Шмелёва

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

lyubov.shmeleva@inbox.ru

В строении рифа Большая Косью выделены 4 интервала, соответствующие фазам/стадиям развития. Самое высокое биоразнообразие рифовой палеоэкосистемы характерно для III интервала, тогда как для завершающей развитие рифа IV стадии — наиболее низкое. Среди каркасостроителей преобладают строматопороидеи, табуляты и сфинктозоа. Широкое распространение и таксономическое разнообразие сфинктозоа впервые установлено в верхнеордовикских рифах Урала. Это были преимущественно криптобионты, они жили в средах, благоприятных для других метазоа, и не имели, таким образом, собственной экологической ниши. Однако при ухудшении условий обитания они довольно быстро адаптировались к изменяющимся условиям среды и стали одной из доминантных групп среди каркасостроящих организмов.

Ключевые слова: биоразнообразие, риф, верхний ордовик, р. Илыч, Северный Урал.

BIODIVERSITY OF THE UPPER ORDOVICIAN BOL'SHAYA KOS'YU REEF (NORTHERN URALS)

L. A. Shmelyova

Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar

In the structure of the Bol'shaya Kos'yu reef, four intervals corresponding to the phases/ stages of growth are established. The highest biodiversity of the reef ecosystem is typical for interval III, while for the final stage IV — it is the lowest. The frame-building organisms are dominated by stromatoporoids, tabulates and sphinctozoan. For the first time, a wide distribution and taxonomic diversity of sphinctozoan in the Upper Ordovician reefs of the Urals is recognized. They were mostly cryptobionts, lived in environments conducive to other Metazoa, and had, thus, their own ecological niche. However, with the deterioration of living conditions, they quickly adapted to changing environmental conditions and became one of the dominant groups among frame-building organisms.

Keywords: biodiversity, reef, Upper Ordovician, Ilych River, Northern Urals.

Введение

Рифы как важнейшие источники информации о былых состояниях биосферы являются уникальными объектами исследования. На западном склоне севера Урала в настоящее время известно три верхнеордовикских рифа (Лек-Елец, Бадья и Большая Косью). Лишь один из них — риф Большая Косью на Северном Урале — практически не затронут процессами доломитизации, что делает его уникальным геологическим объектом палеоэкологического изучения с позиций развития рифовой экосистемы в палеозое Урала. Первое упоминание о биогермных известняках верхнего ордовика в бассейне р. Илыч (рис. 1) принадлежит А. Г. Кондаин [4]. Позднее разрез изучался А. И. Антошкиной, впервые проследившей в структуре рифа смену стадий развития палеосообществ [1]. В настоящее время выявлен сложный па-

леоландшафтный профиль рифа [6], получены новые данные о разнообразии биоты, в том числе установлено присутствие в рифовом сообществе многочисленных сфинктозоа. Так как зарождение и развитие рифа напрямую зависит от каркасообразующего потенциала организмов, способных создавать каркас, и структуры экосистемы в целом, определение их ассоциаций в рифовом сообществе имеет принципиальное значение. Цель статьи — охарактеризовать палеоэкосистемы на различных этапах формирования рифа, показать его структуру и особенности функционирования.

Стратиграфическое положение

Риф Большая Косью с тектоническим контактом залегает на глинистых сланцах, аргиллитах и петельчатых известняках большекосьюнской свиты, возраст которой соответствует верхней части сандбийского и нижней части катийского ярусов. Рифовая толща перекрывается комковатыми известняками с прослоями брекчий яптикшорской свиты верхнего катия, являющегося стратиграфическим аналогом кыринского горизонта Урала [5]. Таким образом, риф Большая Косью соответствует верхнемалотавротинской подсвите Приполярного Урала, а его фациальным аналогом является сульфатно-доломитовая хорейверская свита, распространенная на западном склоне севера Урала.

Характерные представители рифового сообщества

Среди организмов, участвовавших в формировании рифового каркаса, кораллы (ругозы и табуляты) отмечаются довольно часто. Комплекс табулят на-

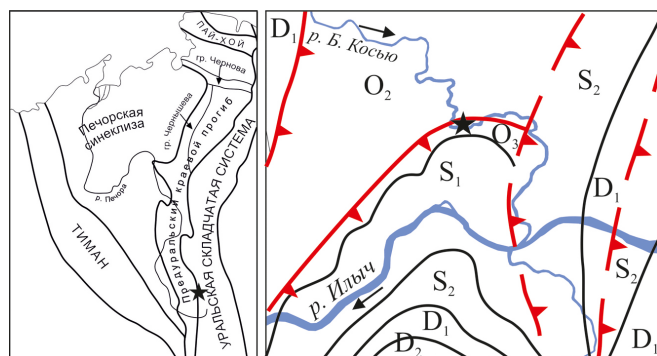


Рис. 1. Местонахождение рифа Большая Косью

Fig. 1. The location of the reef Bol'shaya Kos'yu

считывает 8 видов, которые принадлежат к 6 родам (рис. 2). Преобладают виды подотряда *Heliolitina* из массивных колоний куполовидной и пластинчатой форм размером от 30×5 до 15×20 см. Реже распространены виды подотряда *Halysitina*, которые встречаются в полостях рифа и характеризуются небольшими размерами. Комплекс ругоз, как одиночных, так и колониальных, насчитывает 5 видов, принадлежащих к 4 родам (рис. 2). Ругозы встречаются по всему разрезу рифовой толщи. Колониальные формы достигают в отдельных случаях довольно крупных размеров (60×40 см). Гидроиды *Fistulella* sp. чаще всего встречаются в виде изолированных колоний на склонах небольших биогермов, построенных в основном пластинчатыми и массивными табулятоморфными кораллами. Пространство между полипами гидроидов заполнено либо литокластовым и биокластовым материалом, либо инкрустационными спаритовыми цементами. Губки являются одной из основных групп каркасостроителей и представлены строматопороидеями, сфинктозоа и соленопорами. Термин «сфинктозоа» (*Sphinctozoa*, синоним *Thalamida*) традиционно используется для камерных губок с жестким известковым скелетом. Соленопоры, традиционно относимые к красным водорослям, теперь также отнесены к губкам, так как, по существующему мнению [12], их внутренняя микроморфология наиболее близка к классу губок, так же, как и у строматопороидей [14]. Из-за того, что обломки строматопороидей и соленопор чаще всего изменены по краям сверлящими организмами, их таксономическая идентификация затруднена. В строении рифа они обычно встречаются в биокластовых разностях фланкирующих слоев биогермов. Сфинктозоа представлены видами *Corymbospongia* sp. и *Amblysiphonelloides reticulata* (Rigby & Potter), которые, согласно современным представлениям, относятся к классу обыкновенных губок *Demospongiae* Sollas, 1875. *Corymbospongia* sp. имеют сферические или субсферические камеры размером 1.0–1.8 см, которые часто располагаются одна над другой в виде ветви, либо формируют скопления неправильной конфигурации. Межкамерное пространство в колониях заселено обильными цианобактериями *Renalcis*. Губки *A. reticulata* (Rigby & Potter), которые имеют ветвистые колонии из кольцевидных (в сечении) камер с максимальной длиной ветви 120 мм и шириной до 60 мм. Камеры округлой формы, с четкими пережимами, наращиваются с небольшим обхватом. В структуре рифа сфинктозойные губки были широко распространены, но предпочитали скрытые полости. Рецептакулиты, по современным понятиям, представляют отдельную группу организмов, систематическое положение которых продолжает обсуждаться палеонтологами [11]. Их тела конической формы размером до 20 см в высоту и 14 см в поперечнике, хотя и достигали значительных размеров, не имели каркасообразующей роли, так как лишь спорадически отмечались на склонах небольших биогермов вместе с сфинктозоа *A. reticulata* (Rigby & Potter) и зелеными водорослями. Известковые водоросли представлены зелеными *Vermiporella* sp. и красными *Kozhymella dembowskii* (Sh.). *Vermiporella* sp. являются самыми распространенными не только в биогермах, но и в биокластовых

шлейфах. В биогермах встречаются в различных формах роста, обычно небольшие, хотя единичные экземпляры достигают нескольких сантиметров в длину и имеют хорошую сохранность. Красные водоросли *K. dembowskii* Sh. редки и встречаются в скрытых полостях рифа. Комплекс цианобактерий насчитывает 5 видов. Доминирующими являются *Renalcis* ex. gr. *granosus* (Vologd.), встречающиеся в виде корок на сфинктозойных губках *Corymbospongia* sp. и водорослях *Vermiporella* sp., *K. dembowskii* Sh. и в виде разрозненных колоний в биокластовых разностях. *Girvanella* ex. gr. *problematica* (Nich. et Ether.) встречаются вместе с зелеными водорослями в биогермных известняках. Гирванеллоподобные скопления *Botominella* ex. gr. *problematica* (Nich. et Ether.) и *Proaulopora* ex. gr. *glabra* (Krasnop) редки и обычно присутствуют в биокластовых известняках вместе с фрагментами других водорослей и криноидей. Колониальные нитчатые водоросли *Ikella* sp. встречаются в виде однослойных пленок вокруг полипов гидроидов *Fistulella* sp. Широко распространены преимущественно пятиугольные членики криноидей *Apertocrinus* cf. *apertus* (Yelt. et Stuk.) и *Bystrowicrinus* cf. *bilobatus* (Yelt. et Stuk.).

Строение рифовой толщи

В строении рифа Большая Косью можно выделить 4 интервала разреза, соответствующие фазам/стадиям развития рифа (рис. 2). *Интервал I* (17 м) характеризуют слои массивных биокластовых известняков, в которых встречаются небольшие линзы брахиопод и скопления табулят и ругоз. *Интервал II* (19 м) представляют изолированные биогермы, достигающие 3–5 м в высоту, сложенные массивными биогермными известняками, а окружающее их пространство заполнено биокластовыми и литокластовыми известняками. *Интервал III* (75 м) формируют рифовые ядра из тесно расположенных и нарастающих друг на друга биогермов высотой 3–10 м. Биогермные известняки сложены разнообразными массивными каркасными организмами, в верхней части интервала распространены водорослевые и гидроидные разности. На склонах биогермов развиты биолитокластовые разности, редко — линзочки пелоидных известняков. Пелитоморфные известняки редки и встречаются в скрытых полостях биогермов. *Интервал IV* (26 м) характеризуется увеличением в разрезе биолитокластовых разностей, среди которых отмечаются небольшие линзовидные биогермы мощностью до 3 м из пластинчатых табулят. Разрез рифовой толщи завершается плитчатыми биолитокластовыми известняками.

Характер строения рифовой толщи показывает, что слои интервала I отражают период формирования твердого скелетного известкового субстрата, сложенного преимущественно криноидным песком и цианобактериями. Линзы и скопления табулят, ругоз и брахиопод указывают на благоприятные условия для формирования здесь небольших органических банок. Биогермы, характерные для II, III и IV интервалов, имеют ясно выраженные различия в размерах и форме. Анализ таксономического разнообразия биоты позволил выявить следующие су-



щественные отличия. Самое высокое биоразнообразие в рифовой палеоэкосистеме присуще III интервалу разреза с наиболее распространенными каркасостроителями — строматопороидеями, табулятами подотряда *Heliolitina* и сфинктозоа *Corymbospongia* sp. Для завершающей развитие рифа IV стадии отмечается самое низкое биоразнообразие. В целом по разрезу характерна смена преимущественно строматопороидных палеосообществ (интервал II) сфинктозоино-табулятовыми (интервал IV), которая происходила постепенно в интервале III. Водоросли, одиночные и колониальные ругозы, гидроиды, губки (сфинктозоа *A. reticulata*, соленопоры) и рецептакулиты выступают в качестве второстепенных рифостроителей во II, III и IV интервалах разреза. Цианобактерии, такие как *Renalcis*, *Girvanella*, *Botominella* и *Proaulopora*, распространены повсеместно, *Ikella* — только в ассоциации с гидроидами *Fistulella*.

Обсуждение результатов и выводы

К началу среднего катия на северо-восточной континентальной окраине Европейской платформы оформился типичный карбонатный шельф, на окраине которого карбонатный осадок на песчаной отмели формировался в основном криноидеями (интервал I). Первыми способными формировать каркасную структуру были ругозы, табуляты, строматопороидеи и сфинктозоа (интервал II). Небольшие мощности биогермных построек и присутствие в них цианобактерий и обильных известковых водорослей указывают на мелководные условия, в которых вертикальный рост построек зависел от колебания уровня моря, что приводило к ограничению пространства и низкому разнообразию организмов-каркасостроителей. При устойчивом поднятии уровня моря пионерное сообщество сменилось таксономически более разнообразным, в количественном соотношении стали доминировать строматопороидеи и цианобактерии (нижняя часть интервала III), которые постепенно сменялись крупными массивными разнообразными кораллами в ассоциации с водорослями и цианобактериями. Колонии строматопороидей приобретают здесь черты угнетения, утончаясь в размерах до 5–10 см (верхняя часть интервала III). Это может быть объяснено тем, что при трансгрессии рост «вдгонку» (благоприятный для роста кораллов) становится преобладающим [3]. При достижении рифом уровня моря биогермы строились преимущественно угнетенными пластинчатыми колониями табулятоморфных кораллов. Во внутренних полостях этого каркаса селились сфинктозоа с цианобактериями и выступали в роли связывателей и укрепителей. При отсутствии внешних неблагоприятных факторов экосистема на этой стадии развития могла находиться достаточно долго. Причиной прекращения её развития была регрессия, которая фиксируется присутствием в кровле рифа плитчатых биолитокластовых отложений с присутствием вадозного цемента, характеризующего субаэральную обстановку [9].

Анализ разнообразия рифовых палеоценозов показывает, что структура палеоэкосистемы рифа Большая Косью является наиболее разнообразной по сравнению с одновозрастными рифами на

Приполярном и Полярном Урале [1]. Основными каркасостроителями исследуемого рифа являются губки, такие как строматопороидеи и сфинктозоа, и кораллы. В целом для позднего ордовика были характерны рифовые постройки из процветавших в то время строматопороидей. Что касается сфинктозойных губок, то ранее считалось, что они были важными рифостроителями в средней-поздней перми и среднем-позднем триасе [2]. В настоящее время эти морские бентосные организмы установлены в теплых низкоэнергетических сублиторальных обстановках островодужных террейнов кембрия Южной Австралии и США [8]. Предполагается, что по крайней мере до начала позднего ордовика эти обстановки были предпочтительной средой обитания сфинктозоа [7, 13]. В позднем ордовике происходит первая эволюционная радиация и географическое расселение сфинктозоа [7]. При этом изменялись и их экологические ниши от уровня дна до рифов. Впервые это было доказано на примере позднекарийского сфинктозоино-кораллово-микробного рифа юго-восточной части Китая [10]. Риф Большая Косью является вторым подобным примером. Сфинктозоа здесь были преимущественно криптобионтами, жили в средах, благоприятных для других метазоа, и не имели, таким образом, собственной экологической ниши. Однако при изменении условий обитания на неблагоприятные они, как резистентные для многих факторов организмы, становились одной из доминантных групп среди каркасостроителей рифа.

Автор выражает благодарность А. И. Антошкиной и Е. С. Пономаренко за консультации, ценные замечания и полезные рекомендации при подготовке статьи.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00331.

Литература

1. Антошкина А. И. Рифы в палеозое Печорского Урала. Санкт-Петербург: Наука, 1994. 154 с.
2. Бойко Э. В., Беляева Г. В., Журавлева И. Т. Сфинктозоа фанерозоя территории СССР. М.: Наука, 1991. 224 с.
3. Ивановский А. Б., Осипова А. И., Кузнецов В. Г. и др. Рифогенные постройки в палеозое России. Москва: Наука, 1997. 157 с.
4. Кондаин А. Г. Силурийские и нижнедевонские отложения Бельско-Елецкой фациальной зоны Печорского Урала // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. 1967. Т. 144. 87–122.
5. Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). Екатеринбург: Роскомнедра, ИГиГ УрО РАН, 1993.
6. Шмелёва Л. А. Палеоландшафтная реконструкция верхнеордовикского рифа р. Б. Косью (р. Илыч, Северный Урал) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 23-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2014а. С. 146–149.
7. Carrera M. G., Rigby J. K. Sponges // The Great Ordovician Biodiversification Event / Ed. Webby B. D., Droser M. L., Percival I. G. New York: Columbia University Press, 2004. P. 102–111.
8. Debrenne F., Wood R. A new Cambrian sphinctozoan sponge from North America, its relationship to Archaeocyaths and the nature of early sphinctozoans // Geol. Mag., 1990. Vol. 127. P. 435–443.

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

10. Li Q., Li Y., Kiessling W. The first sphinctozoan — bearing reef from an Ordovician back—arc basin // *Facies*, 2015. Vol. 61. No. 3. P. 11—27.

11. Nitecki M. H., Mutvei H., Nitecki D. V. Receptaculitids: A Phylogenetic Debate on a Problematic Fossil Taxon. Kluwer Academic/Plenum, 1999. 241 p.

12. Riding R. Solenopora Is A Chaetetid Sponge, Not An Alga // *Palaeontology*, 2004. Vol. 47(1). P. 117—122.

13. Webby B., Rigby J. K. Ordovician sphinctozoan sponges from central New South Wales // *Alcheringa*, 1985. Vol. 9. P. 209—220.

14. Wood R. Reef-Building Sponges // *American Scientist*. Vol. 78. 1990. P. 224—235.

References

1. Antoshkina A. I. *Rify v paleozoe Pechorskogo Urala* (Reefs in the Paleozoic of the Pechora Urals). St. Petersburg: Nauka, 1994, 154 pp.

2. Bojko E. H., Belyaeva G. V., Zhuravleva I. T. *Sfinktozoa fanerozoia territorii SSSR* (Sphinctozoans of the Phanerozoic of the USSR). Moscow: Nauka, 1991. 224 pp.

3. Ivanovskij A. B., Osipova A. I., Kuznecov V. G. et al. *Rifogennyye postrojki v paleozoe Rossii* (Reef construction in the Paleozoic of Russia). Moscow: Nauka, 1997, 157 pp.

4. Kondajin A. G. *Silurijskie i nizhnedevonskie otlozheniya Bel'sko-Eletskej fatsial'noj zony Pechorskogo Urala* (Silurian and Lower Devonian deposits of Bielsko-Eletsk facies zone of the Pechora Urals). Proceedings of VSEGEI. V. 144: *Materialy po stratigrafii i tektonike Urala*. Leningrad: Nedra, 1967, pp. 87—123.

5. *Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrij, paleozoj)* (Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic). Ekaterinburg: Roskomnedra, IGIG UrO RAN, 1993.

6. Shmelyova L. A. *Paleolandshaftnaya rekonstrukciya verhnordovikskogo rifa r. B. Kos'yu (r. Ilych, Severnyj Ural)* (Paleo-landscape reconstruction of the reef R. B. Kosyu (the Ilych river, Northern Urals)). *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta: Materialy 23-j nauchnoj konferencii*. Syktyvkar: Geoprint, 2014a, pp. 146—149.

7. Carrera M. G., Rigby J. K. Sponges. The Great Ordovician Biodiversification Event. Ed. Webby B. D., Droser M. L., Percival I. G. New York: Columbia University Press, 2004, pp. 102—111.

8. Debrenne F., Wood R. A new Cambrian sphinctozoan sponge from North America, its relationship to Archaeocyaths and the nature of early sphinctozoans. *Geol Mag*, 1990. V. 127, pp. 435—443.

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

10. Li Q., Li Y., Kiessling W. The first sphinctozoan — bearing reef from an Ordovician back-arc basin. *Facies*, 2015, V. 61, No. 3, pp. 11—27

11. Nitecki M. H., Mutvei H., Nitecki D. V. Receptaculitids: A Phylogenetic Debate on a Problematic Fossil Taxon. Kluwer Academic/Plenum, 1999, 241 p.

12. Riding R. Solenopora is a Chaetetid Sponge, Not An Alga. *Palaeontology*, 2004. V. 47(1), pp. 117—122.

13. Webby B., Rigby J. K. Ordovician sphinctozoan sponges from central New South Wales. *Alcheringa*, 1985, V. 9, pp. 209—220.

14. Wood R. Reef-Building Sponges. *American Scientist*, V. 78. 1990, pp. 224—235.



ФОСФОРИТЫ И ГЛАУКОНИТ: ПРИЧИНА ПАРАГЕНЕЗИСА

Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис, Н. В. Рыбина

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар,
eyuya@yandex.ru

На основе анализа обширной литературы по фосфоритам устанавливается, что постоянная ассоциация «фосфориты — глауконит» является настоящим парагенезисом. Причина этого парагенезиса — общность фациально-диагенетических обстановок образования Са-фосфата и глауконита и решающая роль железа в их формировании. Частая смена топографических, динамических и гидрохимических фаций седиментации в форме «циклов Батурина», поступление в шельфовый бассейн вынесенных из кор выветривания гидроксидов железа (как коллектора фосфора) обусловили как формирование диагенетического глауконита, так и диагенетическую садку Са-фосфата.

Ключевые слова: фосфориты, глауконит, геохимия фосфора, геохимия железа.

PHOSPHORITES AND GLAUCONITE: CAUSE OF PARAGENESIS

Ya. E. Yudovich, M. P. Ketris, N. B. Rybina

Institute of Geology, Komi Science Center, Ural Branch of RAS, Syktyvkar,
eyuya@yandex.ru

Based on the analysis of the vast literature on phosphorites, it is determined that a permanent association «phosphorite — glauconite» is a real paragenesis. The reason for this paragenesis is the common facial and diagenetic conditions of Ca-phosphate and glauconite formation and the decisive role of iron in their formation. Frequent change of topographical, dynamical and hydrochemical facies sedimentation in the form of «Baturin's cycles», the support of iron hydroxides (as collector of phosphorus) from the weathering crusts to shelf basin are the cause for diagenetic glauconite and Ca-phosphat formation.

Keywords: phosphorites, glauconite, geochemistry of phosphorus, geochemistry of iron.

В 1955 г. академик Н. С. Шатский опубликовал свой знаменитый доклад по фосфоритам, сделанный в ноябре 1952 г. на совещании по осадочным породам и скромно названный им (как и всеми последователями) «статьей», хотя это самая настоящая монография объемом 93 страницы с оглавлением и огромной литературой. В этой статье он выделил три группы платформенных фосфоритовых формаций: вулканогенно-кремнистую, терригенно-карбонатную и **глауконитовую**. В каждой группе указаны латеральные и вертикальные ряды; ряд **глауконитовых формаций** включал: терригенно-глауконитовую, карбонатно-глауконитовую и опоково-глауконитовую. Самой продуктивной была первая, содержащая промышленные залежи так называемых **желваковых фосфоритов**.

Заметим, что желваковые (то есть конкреционные) фосфориты как промышленный тип разрабатывались только в России. Уместно вспомнить, что в 1870 г. В. А. Энгельгардта — чересчур либерального петербургского профессора химии — арестовали и бросили в Петропавловскую крепость, а в 1871 г. сослали в его имение Батищево Смоленской губернии, где он и прожил 22 года до самой смерти. Именно тогда он стал известен всей интеллигентной России благодаря публикации в «Отечественных записках» знаменитых «Из деревни. 12 писем. 1872—1887». Между тем (и это оказалось упущено в истории нашей геологии, даже в замечательной книге [2]) именно В. А. Энгельгардт в 1866—1868 гг. обследовал залежи фосфоритов в Смоленской, Курской, Воронежской и Тамбовской губерниях, а собранные образцы проанализировал в своей химической лаборатории Земледельческого института [10].

Самой примечательной особенностью желваковых фосфоритов, приуроченных на Русской плат-

форме к пограничной зоне между отложениями верхней юры и нижнего мела, является их устойчивая ассоциация с глауконитом. Об этом писали абсолютно все гранды отечественной фосфоритной геологии: Б. М. Гиммельфарб, Н. А. Красильникова, А. И. Смирнов, А. М. Тушина, Н. Г. Фридман, Г. Н. Шубаков, А. В. Казаков, Ю. А. Киперман, Б. Г. Гуревич, а позже и многие другие, например И. И. Бок, В. З. Блисковский, А. В. Ильин.

Разумеется, ассоциация фосфоритов и глауконита была давно замечена и в зарубежной геологии. В частности, Н. С. Шатский [9, с. 57] цитирует работу Хаддинга (A. Hadding) 1932 г. Спустя полвека, 20 февраля 1980 г., Геологическое общество Лондона посвятило ей специальное заседание. Материалы этого заседания были опубликованы в 17 статьях отдельного выпуска журнала¹. Один из организаторов, проф. А. Нотолт (A. G. G. Notholt) во вступительной статье отметил, что меловые и третичные глауконитовые «зеленые пески» использовались в ряде стран как комплексное калий-фосфорное удобрение еще во второй половине XIX века.

Не менее устойчива ассоциация фосфатонности с гидроксидами железа, свойственная не только желваковым, но и ряду других фосфоритов. Самым очевидным примером такой ассоциации является зараженность фосфором оолитовых железных руд, например керченских.

Однако, если ассоциация фосфора с гидроксидами железа легко понятна и объясняется надежно доказанной сорбцией фосфата на Fe(OH)₃, то ассоциация «фосфат — глауконит», будучи широко известной, так и не получила ясного генетического истолкования. В работах наших «фосфоритчиков» вопрос

¹ J. geol. Soc. London, 1980, vol. 137, part 6.

о генезисе такой ассоциации даже не ставился; все ее отмечали, но никто не пытался предложить конкретный механизм возникновения такой ассоциации¹. Единственное, что было геологам вполне очевидно, — условия образования как глауконита, так и фосфатов должны быть очень близкими. Например, Н. С. Шатский писал [9, с. 60]: «Приведенные данные <...> указывают, вероятно, на очень близкие условия образования фосфоритов и глауконита в осадках, входящих в фосфоритовые глауконитовые формации».

Прежде чем попытаться определить конкретную причину парагенезиса фосфоритов и глауконита, кратко рассмотрим известные данные о членах наблюдаемой природной ассоциации: фосфоритах, глауконите, фосфатсодержащих гидроксидах железа. Заметим, что литература по этим темам так обширна, что практически необозрима. Поэтому мы воспользуемся здесь одной из удачных сводок (премированной в 2010 г. Российским минералогическим обществом) — монографией «Минеральные индикаторы литогенеза» [11]. Это позволит по большей части опустить ссылки на оригинальные работы — заинтересованный читатель может найти их на указанных страницах данной книги.

Глауконит. Наибольший вклад в познание природы этого минерала в отечественной минералогии внесен А. Г. Коссовской и В. А. Дрицем, И. В. Николаевой, Т. А. Ивановской. Согласно представлениям крупнейшего специалиста по глауконитам И. В. Николаевой, глаукониты — это диоктаэдрические слюды однослойной полиморфной модификации 1M—1Md, с составом тетраэдров, близким к $[\text{Si}_{3.6}\text{Al}_{0.4}\text{O}_{10}]_{4.0}$, и сложным составом октаэдров, в который могут входить три главных элемента — Al, Fe и Mg. Соответственно, различают и три главные разновидности глауконитов: глиноземистую, железистую (собственно глаукониты) и магнетиальную. Октаэдрический заряд у глауконитов выше, чем тетраэдрический, что отличает их от прочих слюдяных минералов. В межслоевых промежутках глауконитов может присутствовать не только K^+ , но и Na^+ и Ca^{2+} [11, с. 306]. Поскольку глаукониты — минералы высококремнистые, содержащие от 3.5 до 3.8 ф. е. Si, это ведет к дефициту K по сравнению с настоящей слюдой. Как и у Al-гидрослюд, этот дефицит K сопровождается большей гидратацией. По-видимому, прекурсором большинства глауконитов были железистые смектиты типа нонтронита — не только в современных осадках, но и в таких древних осадочных толщах, как вендские [11, с. 306]. Примесь в глауконите разбухающей фазы фиксируется практически всегда, а на ранних стадиях глауконитообразования вполне возможно присутствие более чем одной смешанослойной фазы [11, с. 306].

Очень часто фиксируется совместное присутствие нескольких морфотипов глауконитов разной степени «зрелости», т. е. содержания K. По этой причине А. В. Жабин сомневался в реальности смешанослойной природы глауконитов, допуская присутствие в них самостоятельных слюдяной и смектитовой

фаз, причем первая образуется даже раньше (!) второй [5, с. 62]. Однако М. Е. Каплан и И. В. Николаева [6, с. 73] подчеркнули, что «смешанослойные образования тесно ассоциируются со смесью тех минералов, которые составляют фазы (слои) <...>. Тесная ассоциация однотипных минералов, представляющая собой в одних случаях смеси, а в других — смешанослойные образования, позволяет рассматривать те и другие как разные состояния такой ассоциации, а не как самостоятельные минералы. Смешанослойные образования, как и смеси аутигенных минералов, фиксируют зону метастабильного состояния двух (или более) сосуществующих минералов, которая соответствует, как правило, фацальной зоне перехода: от среды, благоприятной для образования одного минерала, к среде, благоприятной для образования другого <...>» [6, с. 73].

Эти и многие другие данные склоняли нас к мысли, что смешанослойная (смектит/слюдяная) природа глауконита не есть некое промежуточное состояние на пути к «настоящей» глауконитовой слюде поли типа 1M, а фундаментальная черта всех глауконитов как минерального вида [11]. Однако приходится признать, что существуют глаукониты и без разбухающей фазы — как, например, в описанном А. Р. Гептнером и Т. А. Ивановской нижнемеловом песчанике о-ва Уайт [3]. Минерал дает только слюдяной рефлекс 10 Å и, следовательно, не содержит разбухающих пакетов. Поэтому можно допустить существование в природе двух генотипов глауконита: преобладающего апосмектитового (трансформационного) и более редкого — синтетического, образующегося непосредственно из железоалюмокремнивого коллоида.

Как сам глауконит, так и особенности его состава могут служить индикаторами литогенеза: климата эпохи седиментации [11, с. 181, 183], петрофонда [11, с. 81, 97], топо- и динамофаций [11, с. 207—211, 222, 232, 233], гидрофаций [11, с. 248, 275], диагенеза [11, с. 305—307, 314, 315], катагенеза [11, с. 401, 402, 411, 413] и гипергенеза [11, с. 472]. Из перечисленного для нашей темы особенно важно формирование глауконита в закономерном ряду шельфовых фаций. Автохтонные глаукониты формировались в определенных местах фацеального профиля — в самых низах трансгрессивной последовательности осадков, т. е. в наиболее глубоководной части шельфового фацеального профиля. Например, на восточной окраине Западно-Сибирского мел-палеогенового морского бассейна устанавливается четкая фацеальная зональность аутигенного минералообразования по мере удаления от берега [11, с. 209, 210]:

оолиты гётит-гидрогётитовые и гидрогётит-шамозитовые ⇒ ооиды глауконит-шамозитовые и ожелезненного глауконита ⇒ глауконит ⇒ глауконит + монтмориллонит.

При этом «гидроокисно-железистые оолиты и железистые шамозиты и глауконит фиксируют фацеальную зону максимального накопления железа, замещающуюся как в сторону континента, так и в глубь моря силикатами алюминия: каолинита и монтмориллонита соответственно» [11, с. 210]. Столь же важно отмеченное Е. М. Емельяновым формирование глауконита в современных осадках там, где слой кислородного минимума в толще воды пересекается с дном. «Так как глауконит образуется в верхнем активном слое осадков

¹ При этом полностью забытыми «фосфоритчиками» оказались важные генетические соображения А. Е. Ферсмана, высказанные им еще в 1939 г. в четвертом томе «Геохимии» [8, с. 109].



диагенетически, то основным источником железа является его растворенная форма (Fe^{2+}), которая в повышенных концентрациях находится в поровых водах восстановленных осадков» [11, с. 275].

Фосфат. Большинство фосфатов в промышленных фосфоритах (в том числе и желваковых) представлено франколитом — фтор-карбонат-апатитом с общей формулой $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{REE})_{10} [\text{PO}_4, \text{SO}_4, \text{CO}_3]_6 (\text{F}, \text{OH})_{2-3}$. В. З. Блисковский указывает на присутствие во франколите помимо гидроксидов еще и молекулярной воды [2, с. 13]: «замещение $[\text{CO}_3]^{2-}$ — $[\text{PO}_4]^{3-}$ приводит к соответствующему дефициту ионов Ca^{2+} в структуре франколита и увеличению содержания молекулярной воды, избыточной против $\text{F} + \text{OH} = 2$, по общей формуле $\text{Ca}_{10-n/2} [\text{PO}_4]_{6-n} (\text{CO}_3)_n (\text{F}, \text{OH})_2 \text{H}_2\text{O}$ ».

Характер изоморфных замещений в катионной и анионной частях франколитов, а также изотопный состав углерода и серы могут быть хорошими индикаторами литогенеза. Франколиты (и другие осадочные фосфаты) могут быть индикаторами: процессов выветривания [11, с. 23, 24, 32, 37], петрофонда терригенного [11, с. 74, 75, 85, 86, 93], вулканогенного [11, с. 110, 124, 125], гидротермального [10, с. 134, 141, 151], климата эпохи седиментации [11, с. 190, 191, 201], топо- и динамофаций седиментации [11, с. 216, 223, 224, 232—234, 238, 239, 240], солености, Eh и pH водной среды седиментации [11, с. 230, 277, 278, 281—283, 285—287], диагенеза раннего [11, с. 296, 316, 317, 330—332] и позднего [11, с. 347, 348, 357], катагенеза [11, с. 440—442, 446] и, наконец, гипергенеза [11, с. 472—474, 487]. Из перечисленного для нашей темы особенно важно формирование фосфатов в связи с периодическими перерывами, с чередованием быстрой и сильно замедленной седиментации. Например, в так называемой Гельветской формации Австрии, располагавшейся на северной окраине Тетиса и охватывавшей стратиграфический интервал от апта до нижнего сеномана, описаны повторяющиеся в разрезе маломощные фосфатные прослои (обычно < 50 см) в толще глауконитовых песков, мергелей и пелагических микритовых известняков. Скорость седиментации таких прослоев была очень мала: 2—20 см/млн лет, т. е. эти прослои являются «конденсированными». Австрийский литолог К. Фёллми нарисовал убедительный сценарий образования таких прослоев, назвав циклические последовательности слоев в разрезе «циклами Батурина» [11, с. 233, 234].

В эксперименте была показана невозможность гомогенного осаждения фосфата из морской воды вследствие сильных кинетических ограничений, вызванных присутствием Mg^{2+} , сильно разрыхляющего структуру фосфата и тем повышающим его растворимость. Такие ограничения отсутствуют для низкомагниевого поровых растворов осадков высокопродуктивных зон океана [4]. А. Лонгинелли пришел к выводу, что осадочные Са-фосфаты образовались путем замещения группы $[\text{CO}_3]^{2-}$ бывших карбонатных осадков на растворенный в морской воде фосфат $[\text{PO}_4]^{3-}$ [16]. При этом франколиты из прибрежных отложений, образованные за счет фосфатизации известняка, и франколиты, образовавшиеся в относительно глубоководной анаэробной фации при диагенезе обильного ОВ [1], значимо различаются по изотопным характеристикам кислорода и углерода структурной группы

CO_3 [13]: аноксические (диагенетические) фосфаты отличаются от аэробных метасоматических (таковой, по-видимому, является подавляющая масса всех фосфоритов) более тяжелым изотопным составом углерода и кислорода карбонатной группы:

Генотипы фосфоритов	δ	δ
Прибрежные, апокарбонатные	от –16 до +1	от –5 до –15
Отдаленные, образовавшиеся в углеродистых илах	от –1 до +3	от –4 до 0

Парагенез глауконита и фосфатов. Помимо давно известной фосфатоносности многих глауконитовых пород, позволяющей использовать их как комплексные калийно-фосфорные удобрения, тонкие микроскопические наблюдения А. И. Смирнова на желваковых фосфоритных месторождениях убедительно показывают, что ассоциация глауконита и фосфата — это самый настоящий парагенезис [7, с. 51—53]. Ему удалось выявить теснейшие связи аутигенного диагенетического глауконита и фосфата(?) — как частое чередование того и другого в концентрических слоях глауконитовых зерен-микроконкреций, так и пигментирование глауконита рассеянным в нем «пигментным фосфатом». В итоге он заключил: «По-видимому, как фосфат, так и глауконит выделялись в несколько стадий, а последние стадии образования глауконита могли происходить позже начала фосфоритообразования».

Добавим, что на фосфатоносность глауконитов было гораздо раньше указано Н. С. Шатским [9, с. 59, 60]: «Необходимо отметить, что весьма тесный парагенезис фосфоритов и глауконита, возможно, выражается также в постоянном присутствии фосфорного ангидрида в химическом составе минерала глауконита».

Парагенез глауконита и гидроксидов железа. Помимо общеизвестных фактов фосфатоносности железных руд и закономерного соседства гематита и фосфатоносного глауконита на шельфовом фациальном профиле, прямые микроскопические наблюдения А. И. Смирнова над железистыми оолитами также показывают, что такая ассоциация — парагенетическая: «В центре каждого оолита всегда имеется ядро, сложенное зерном микроагрегатного глауконита, часто обохренного, вплоть до полного замещения его агрегатом из гидроокислов железа и опала. Оболочка оолита концентрически-слоистая толщиной от 1/3 до 2/3 его радиуса. Состоит она из концентров гидроокислов железа, в различной степени обогащенных опалом и фосфатом» [7, с. 53].

Эксперименты Г. Хардера [15] по низкотемпературному синтезу железистых слоистых силикатов показали, что железистый смектит (наиболее вероятный прекурсор глауконита) образуется путем сорбции растворенного кремнезема на алюможелезистом геле. Следовательно, сорбция на гидроксидах железа и кремнезема (с формированием глауконита) и фосфора (с образованием, скорее всего, не Са-, а Fe-фосфата) может происходить одновременно! Это полностью объясняет наблюдения А. И. Смирнова. Очевидно,



если преимущественно сорбировался кремнезем, то получался фосфатсодержащий глауконит; а если преимущественно сорбировался фосфат, то получался фосфорит с той или иной примесью дисперсного глауконита.

Приведенные сведения позволяют нарисовать сценарий, объясняющий парагенез фосфатов и глауконита. Исходным условием такого парагенеза была неустойчивость, периодическая смена обстановок седиментации и диагенеза, на что проницательно указал А. Е. Ферсман еще в 1939 г. Поистине, *новое — это хорошо забытое старое*. Современная детализация этих представлений может быть показана на схеме:

Окислительная седиментация		Восстановительный диагенез
Источник фосфата — наддонная вода; высокое содержание в ней Mg^{2+} препятствует осаждению Са-фосфата, поэтому образованный в диагенезе фосфат растворяется. Микроконкреционный ранний глауконит «созревает» — обогащается К, поглощая его из наддонной воды. Формируются гидроксиды Fe, захватывающие растворенный фосфат из наддонной воды по схеме «железофосфатного конвейера» П. Фрелиха и др., 1988 [14] или Т. Алгео и Е. Ингалла, 2007 г. [12, р. 131].	↔	Источник фосфата — поровые воды, куда он поступает при растворении фосфатсодержащих гидроксидов Fe. Образуется ранний относительно бедный К микроконкреционный глауконит с высокой долей смектитовых пакетов и с Fe^{2+} в октаэдрических слоях структуры. Этот ранний глауконит поглощает из поровых вод Mg^{2+} , поэтому становится возможным формирование Са-фосфата.

Итак, как и считали все геологи, изучавшие фосфориты, причина парагенеза «фосфаты — глауконит» — это общность обстановок формирования глауконита и фосфатов. Глауконит образуется в условиях частого периодического чередования топографических и гидрохимических фаций, для которых характерны «циклы Батурина», когда периодически колеблется динамика и, соответственно, величина Eh наддонных вод. Положение глауконитов на фациальном профиле шельфа на определенном расстоянии от берега и закономерная связь их с гётит-оолитовыми и бертьериновыми («шамозитовыми») фациями ясно указывают на коры выветривания (КВ) — наиболее вероятный источник железа. Вынесенное из КВ железо, скорее всего в форме хлопьев ферригидрита [11, с. 30], обеспечивало диагенетическое формирование глауконита, причем ферригидрит сорбировал растворенный биогенный фосфор, что обеспечивало последующее образование фосфатов.

Таким образом, непосредственной причиной парагенеза платформенных желваковых фосфоритов с глауконитом является тесная геохимическая связь фосфора с железом.

Работа проводилась в рамках Госпрограммы Института геологии № АААА-Ф17-117121270034-3.

Литература

1. Батури́н Г. Н. Фосфориты на дне океанов. М.: Наука, 1978. 232 с.
2. Блисковский В. З., Минеев Д. А. Камни плодородия. М.: Недра, 1986. 213 с.
3. Гептнер А. Р., Ивановская Т. А. Глауконит из морских нижнемеловых терригенных отложений Англии (концепция биохемогенного генезиса) // Литология и полезные ископаемые. 2000. № 5. С. 487—499.
4. Голубев С. В., Савенко В. С. Кинетика гомогенного осаждения фосфата кальция из морской воды // Вестник МГУ. Сер. 4. 1999. № 1. С. 34—38.
5. Жабин А. В. Минеральный состав глауконитовых сферолитов в верхнемеловых и палеогеновых отложениях Воронежской антеклизы // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2000. № 5. С. 58—63.
6. Каплан М. Е., Николаева И. В. Минеральный состав и генезис силикатных микроконкреций мезозойских отложений севера Восточной Сибири (парагенез глауконит — шамозит — смектит) // Кристаллохимия и парагенезы минералов осадочных пород: Сб. науч. тр. Новосибирск: Ин-т геологии и геофизики СО АН СССР, 1975. С. 38—76.
7. Смирнов А. И. Вещественный состав и условия формирования основных типов фосфоритов. М.: Недра, 1972. 196 с. (Тр. ГИГХС. Вып. 14).
8. Ферсман А. Е. Фосфор (Р-15) // Избранные труды. Том V: Геохимия. М.: АН СССР, 1959. Т. 4. С. 100—112.
9. Шатский Н. С. Фосфоритоносные формации и классификация фосфоритовых залежей // Совещание по осадочным породам. Выпуск второй. Доклады. М.: АН СССР, 1955. С. 7—100.
10. Юдович Я. Э. Забытая страница истории русских фосфоритов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2009. № 9 (177). С. 19.
11. Юдович Я. Э., Кемпус М. П. Минеральные индикаторы литогенеза. Сыктывкар: Геопринт, 2008. 564 с.
12. Algeo T. J., Ingall E. Sedimentary $C_{org}:P$ ratios, paleocean ventilation, and Phanerozoic atmospheric pO_2 // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 2007. Vol. 256/ № 3—4. P. 130—155.
13. Benmore R. A., Coleman M. L., McArthur J. N. Origin of sedimentary francolite from its sulfur and carbon isotope composition // Nature. 1983. Vol. 302. № 5908. P. 516—518.
14. Froelich P. N., Arthur M. A., Burnett W. C. et al. Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: phosphate precipitation // Marine Geol. 1988. Vol. 80. № 3/4. P. 309—343.
15. Harder H. Synthesis of iron layer silicate minerals under natural conditions // Clay and Clay Minerals, 1978. V. 96. # 1. P. 65—72.
16. Longinelli A. Geochimica degli isotopi in sedimenti fosfatici e carbonatici // Rend. Soc. ital. miner. e petrol. 1981. Vol. 37. № 1. P. 35—43.

References

1. Baturin G. N. Fosfority na dne okeanov (Phosphorites on ocean bottom). Moscow: Nauka, 1978, 232 pp.
2. Bliskovskii V. Z., Mineev D. A. Kamni plodorodiya (Stones of fertility). Moscow: Nedra, 1986, 213 pp.
3. Geptner A. R., Ivanovskaya T. A. Glaukonit iz morskikh nizhnemelovykh terrigennykh otlozhenii Anglii (kontseptsiya biohemogenogo genezisa) (Glauconite from marine Lower Cretaceous terrigenous deposits of England (concept of bio-



hemogenous genesis)). *Litol. i polez. iskopaemye*, 2000, No. 5, pp. 487—499.

4. Golubev S. V., Savenko V. S. *Kinetika gomogenogo osazhdeniya fosfata kal'tsiya iz morskoi vody* (Kinetics of homogenous deposition of calcium phosphate). *Vestnik MSU. Ser. 4*, 1999, No. 1, pp. 34—38.

5. Zhabin A. V. *Mineralnyi sostav glaukonitovykh sferolitov v verhnemelovykh i paleogenovykh otlozheniyakh Voronezhskoi anteklizy* (Mineral compositions of glauconite spherolites in Upper Cretaceous and Paleogenic deposits of Voronezh antecline). *Vestn. Voronezh. gos. un-ta. Geologiya*, 2000, No. 5, pp. 58—63.

6. Kaplan M. E., Nikolaeva I. V. *Mineralnyi sostav i genezis silikatnykh mikrokonkretsiy mezozoiskikh otlozhenii Severa Vostochnoi Sibiri (paragenez glaukonit-shamozit-smektit)* (Mineral composition and genesis of silicate microconcretions of Mesozoic deposits of the North of Eastern Siberia (paragenesis glauconite-shamozite-smectite)). *Kristallohimiya i paragenez mineralov osadochnykh porod* (Crystal chemistry and paragenesis of minerals of sedimentary rocks). Novosibirsk: Institute of geology and geochemistry AS USSR, 1975, pp. 38—76.

7. Smirnov A. I. *Veschestvennyi sostav i usloviya formirovaniya osnovnykh tipov fosforitov* (Material composition and conditions of formation of main types of phosphorites). Moscow: Nedra, 1972, 196 pp.

8. Fersman A. E. *Fosfor (R-15)* (Phosphorus (R-15)). *Geokhimiya* (Geochemistry). V. 4, Moscow: AS USSR, 1959, pp. 100—112.

9. Shatskii N. S. *Fosforitonosnye formatsii i klassifikatsiya fosforitovykh zalezhei* (Phosphorite formations and classification of phosphorite deposits). Meeting on sedimentary rocks. Reports. Moscow: AS USSR, 1955, pp. 7—100.

10. Yudovich Ya. E. *Zabytaya stranitsa istorii russkikh fosforitov* (Forgotten page of history of Russian phosphorites). *Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS*, 2009, No. 9 (177), pp. 19.

11. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Mineralnye indikatory litogeneza* (Mineral indicators of lithogenesis). Syktyvkar: Geoprint, 2008, 564 pp.

12. Algeo T. J., Ingall E. Sedimentary Corg:P ratios, paleocean ventilation, and Phanerozoic atmospheric pO₂. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 2007, V. 256, No. 3—4, pp. 130—155.

13. Benmore R. A., Coleman M. L., McArthur J. N. Origin of sedimentary francolite from its sulfur and carbon isotope composition. *Nature*, 1983, V. 302, No. 5908, pp. 516—518.

14. Froelich P. N., Arthur M. A., Burnett W. C. et al. Early diagenesis of organic matter in Peru continental margin sediments: phosphate precipitation. *Marine Geol.*, 1988, V. 80, No. 3/4, pp. 309—343.

15. Harder N. Synthesis of iron layer silicate minerals under natural conditions. *Clay and Clay Minerals*, 1978, V. 96, # 1, pp. 65—72.

16. Longinelli A. *Geochimica degli isotopi in sedimenti fosfatici e carbonatici*. *Rend. Soc. ital. miner. e petrol.*, 1981, V. 37, No. 1, pp. 35—43.

МИНЕРАЛОГИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭВАПОРИТОВ УРОЧИЩА ТАЛОЕ ОЗЕРО (РЕСПУБЛИКА ХАКАСИЯ)

М. О. Хрущева, П. А. Тишин, А. Л. Архипов, А. И. Чернышов

Томский государственный университет, Томск

masha2904@mail.ru

Объектом исследования выступают современные эвапоритовые осадки урочища Талое озеро. Оно расположено на территории Южно-Минусинской котловины и представляет собой межуэстовую впадину, в которой находятся два временных водоема — Западный и Восточный. Актуальность работы обусловлена тем, что Талое озеро относится к группе степных водоемов, которые, в свою очередь, характеризуются специфическим набором минеральных видов, зависящих от состава питающих водоемов вод. Проведенные исследования позволили диагностировать общий минеральный состав донных осадков, в результате чего были выделены две минеральные ассоциации: эвапоритовая (объединяет минеральные фазы, которые могут быть получены при упаривании рассолов, грунтовых и поверхностных вод) и терригенная (включает в себя минеральные виды, не растворимые в воде). Также была установлена последовательность выпадения водорастворимых минералов из рассолов посредством изучения взаимоотношений минеральных фаз. Минеральный состав донных осадков напрямую зависит от гидрогеохимического типа вод.

Ключевые слова: эвапориты, минеральная ассоциация, минеральная зональность, последовательность минералообразования.

MINERALOGY OF MODERN EVAPORITES OF THE TALOE LAKE TRACT (REPUBLIC OF KHAKASSIA)

M. O. Khrushcheva, P. A. Tishin, A. L. Arkhipov, A. I. Chernyshov

Tomsk State University, Tomsk

masha2904@mail.ru

The object of the study is modern evaporitic sediments of the Taloe Lake tract. It is located on the territory of the South Minusinsk depression and represents an intercostal cavity with two temporary reservoirs — the Western and the Eastern. The urgency of the work is due to the fact that Taloe Lake belongs to a group of steppe reservoirs, which in turn are characterized by a specific set of mineral species that depend on the composition of the water supplying the reservoir. The investigations made it possible to diagnose the total mineral composition of bottom sediments, as a result of which two mineral associations were identified: evaporite (combines the mineral phases that can be obtained by evaporating brines, groundwater and surface waters) and terrigenous (includes mineral species insoluble in water). Also, a sequence of precipitation of water-soluble minerals from brines was established, through the study of the relationships of mineral phases. At the same time, the mineral composition of the bottom sediments depends directly on the hydrogeochemical type of water.

Keywords: evaporites, mineral association, mineral zonality, sequence of mineral formation.

Введение

В последнее время все больше исследователей обращают свое внимание на изучение минералогии и геохимии высокоминерализованных водоемов [5, 9]. Особый интерес представляют временные озера степных районов, так как именно они довольно резко различаются по геохимическим показателям и характеризуются богатым разнообразием минеральных видов. Урочище Талое включает в себя два временных водоема, расположенных параллельно друг другу, — Западный и Восточный. Водоемы имеют форму эллипсов, вытянутых в субмеридиональном направлении, их размер составляет 3300×960 м и 1610×385 м соответственно. Общая площадь водосбора составляет около 25 км². Питание озер осуществляется за счет атмосферных осадков, таяния снегов и поступления грунтовых вод. Интерес к урочищу Талое озеро возник еще в XIX веке, на его базе был построен Абаканский солеваренный завод, который функционировал до середины XX века. В то время это был один из основных поставщиков поваренной соли в Усть-Абаканском районе.

Геологическое строение района

Территориально урочище Талое озеро расположено в пределах Южно-Минусинской котловины, на левобережье реки Енисей. Оно принадлежит к чис-

лу водоемов Уйбатской степи. Ближайшие к урочищу Талое озеро населенные пункты — города Черногорск и Абакан, также вблизи расположен Черногорский угольный разрез (рис. 1).

Талое озеро представляет собой озерно-хемогенную субравнину, которая заполняет понижение внутри денудационной равнины, расположенной между останцами кустового мелкосопочника. Основными осадками, слагающими эту равнину, выступают озер-

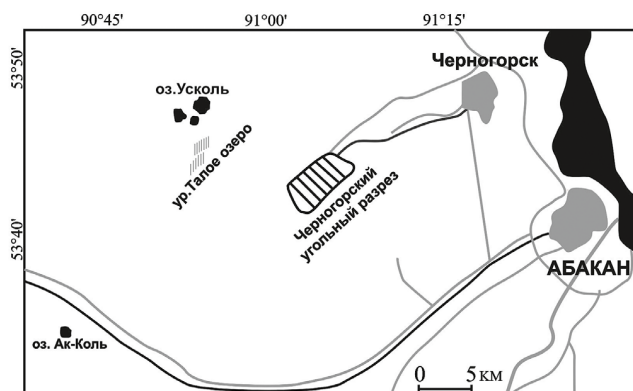


Рис. 1. Расположение урочища Талое озеро

Fig. 1. The location of the tract Lake Taloe



ные глины, илы и соли. Возраст рыхлых отложений оценивается как эоплейстоцен — нижнее звено неоплейстоцена. Подстилающие породы представлены карбонатно-терригенными осадками тубинской свиты верхнего девона. Источником соли в водоемах, по данным А. В. Русанова [6], является глубинный соляной купол, образующий антиклинальную структуру.

Методы и подходы

Полевые работы осуществлялись аналитической группой Томского государственного университета (М. О. Хрущева, П. А. Тишин, А. Л. Архипов) в течение трех лет (2014—2016 гг.). В результате было отобрано 29 проб донных осадков и 15 проб грунтовых и поверхностных вод. Донные осадки отбирались с центральной и береговой частей озер. В дальнейшем пробы высушивались при комнатной температуре и анализировались прецизионными методами. Изучение минерального состава солей и донных осадков проводилось с помощью методов рентгенофазового анализа на дифрактометре X'PERT PRO фирмы PANalytical (Нидерланды). Рентгенограммы снимались трубкой с медным анодом. Шаг съемки составлял 0.02° , диапазон углов 2θ — $4-60^\circ$, вращение — 30 об./мин, выдержка — 0.1 сек в точке, рабочий радиус — 141 мм. Расшифровка дифрактограмм проводилась с помощью программного комплекса HighScore и международной базы данных PDF-4 Minerals [10]. Для диагностики глинистых минералов была разработана оригинальная методика разделения пробы на глинистую и солевую составляющие [3, 7].

Морфология кристаллов изучалась на растровом электронном микроскопе TESCAN — VEGA II LMU, оснащенный энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 350 (Si (Li)-детектор). Непроводящий образец с естественным сколом напылялся слоем углерода толщиной (25 ± 5) нм. При определении химического состава в точке рабочее ускоряющее на-

пряжение составляло 15 кВ и более, ток пучка — 5 нА, размер пучка — 500 Å. Данные работы осуществлялись на базе центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Томского государственного университета.

Результаты и обсуждение

С помощью методов рентгенофазового анализа анализировались донные осадки водоемов урочища Талое озеро. В результате проведенных испытаний диагностированы следующие минеральные фазы: кварц (SiO_2), альбит ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$), калиевый полевой шпат ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$), галит (NaCl), иллит ($(\text{K}_{0.75}(\text{H}_3\text{O})_{0.25})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}((\text{H}_2\text{O})_{0.75}(\text{OH})_{0.25})_2$), каолинит ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_8$), хлорит ($(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Cr}, \text{Ni}, \text{Mn})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})_3(\text{OH})_6$), кальцит (CaCO_3), доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), арагонит (CaCO_3), гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), тенардит (Na_2SO_4), астраханит/блэдит ($\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), ваттевиллит ($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), эпсомит ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), эугстерит ($\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (табл. 1).

Особую сложность в диагностике минеральных фаз представляли глинистые минералы. Это обусловлено изобилием в породах солей, способствующих появлению интенсивных рефлексов на фоне слабых контрастных линий глинистых минералов в малоугловой области рентгенограммы.

В результате проведения работ согласно методике [3] получены рентгенограммы препарата: в воздушно-сухом состоянии, после насыщения этиленгликолем, после прокаливании при температуре 550°C .

После извлечения солевой составляющей из образцов глинистой фракции были установлены минералы группы хлорита, иллит, каолинит.

Хлориты относятся к группе магнезиальных, так как в отличие от железистых хлоритов у них отсутствует смещение максимума $14,03 \text{ \AA}$ в более длинноволновую область (рис. 2), а также рефлекс $002, 003, 004$

Таблица 1. Минеральная характеристика по данным рентгенофазового анализа

Table 1. Mineral characteristics from X-ray phase analysis data

Минеральная фаза Mineral phase	Межплоскостное расстояние в ангстремах ($d(\text{\AA})$), интенсивность (I) Interplanar distance in angstroms ($d(\text{\AA})$), intensity (I)	№ карточки PDF-4 [10] No PDF paper
Кварц / Quartz	$3,34_{10}; 4,25_5; 2,45_3$	[01-085-0794]
Альбит / Albite	$3,19_{10}; 3,66_4; 6,36_2$	[01-089-6426]
КПШ / PFS	$3,24_{10}; 4,22_8; 4,04_4$	[04-011-0526]
Иллит / Illite	$9,91_{10}; 4,91_4; 3,33_{10}$	[01-070-3754]
Каолинит / Kaolinite	$7,05_{10}; 3,53_5; 4,47_3$	[00-003-0058]
Хлорит / Chlorite	$14,03_{10}; 7,05_8; 4,71_4$	[00-052-1044]
Галит / Halite	$3,25_2; 2,81_{10}; 1,99_6$	[04-002-2489]
Кальцит / Calcite	$3,84_2; 3,06_{10}; 2,49_4$	[01-086-1108]
Доломит / Dolomite	$2,89_{10}; 1,81_1; 1,79_1$	[00-034-0517]
Арагонит / Aragonite	$3,39_{10}; 3,28_5; 2,70_5$	[01-080-2771]
Гипс / Gypsum	$7,60_8; 4,25_{10}; 2,89_6$	[01-074-1904]
Тенардит / Tenardite	$4,66_7; 3,84_2; 3,18_6$	[00-037-1465]
Астраханит / блэдит Astrahanite / bloedite	$4,50_{10}; 2,93_4; 2,59_2$	[01-077-1343]
Ваттевиллит / Wattevilleite	$4,39_{10}; 4,20_7; 5,44_5; 5,10_4$	[00-041-1360]
Эпсомит / Epsomite	$4,21_{10}; 4,20_8; 2,66_3; 2,88_3$	[01-072-0696]
Эугстерит / Eugsterite	$3,42_{10}; 5,48_7; 9,22_5$	[00-035-0487]

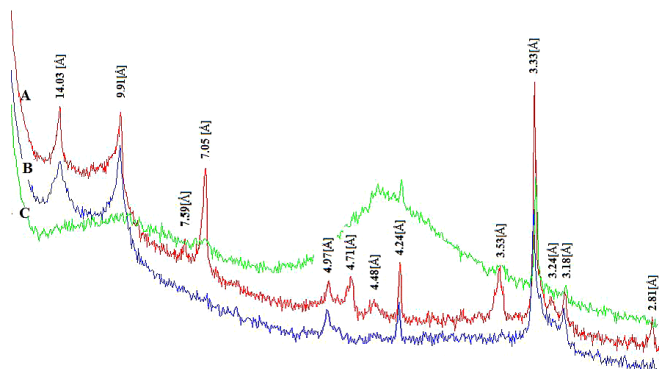


Рис. 2. Комбинированная рентгенограмма препарата глинистой фракции: А — в воздушно-сухом состоянии; В — после прокаливании препарата при 550 °С, С — после насыщения препарата этиленгликолем. *Примечание:* хлорит (14,03₁₀ Å; 7,05₈ Å; 4,71₄ Å), иллит (9,91₁₀ Å; 4,91₄ Å; 3,33₁₀ Å), каолинит (7,05₁₀ Å, 3,53₅ Å, 4,47₃ Å)

Fig. 2. Combined X-ray diffraction pattern of the clay preparation: А — in the air-dry state, В — after calcination of the preparation at 550 °С, С — after saturation of the preparation with ethylene glycol. *Note:* chlorite (14.03₁₀ Å, 7.05₈ Å, 4.71₄ Å), illite (9.91₁₀ Å, 4.91₄ Å, 3.33₁₀ Å), kaolinite (7.05₁₀ Å, 3.53₅ Å, 4.47₃ Å)

характеризуются примерно одинаково высокой интенсивностью.

Рефлексы каолинита полностью исчезают на рентгенограмме после прокаливании образца при температуре 550 °С в течение двух часов, так как при этой температуре происходит разрушение его кристаллической решетки (рис. 2) [7].

Минералы группы иллита диагностируются по характерным линиям (табл. 1).

Количественный расчет минеральных фаз в образцах, отобранных с береговой и центральной частей водоемов, рассчитан методом Ритвельда. Полученные результаты наиболее представительных образцов отражены в таблице 2.

Исходя из установленного набора минеральных фаз, можно выделить два генетических типа ассоциаций: терригенную и эвапоритовую [1, 4]. Терригенная ассоциация объединяет в себе минералы, не растворимые в воде: кварц, альбит, калиевый полевой шпат, глинистые минералы. Эвапоритовая ассоциация включает в себя минеральные виды, образованные при упаривании грунтовых, поверхностных вод и рассолов — это минералы групп карбонатов и сульфатов.

Можно предположить, что большая часть терригенных минералов привносится в водоемы эоловыми процессами. На это указывает схожий состав обломочной составляющей как в Восточном, так и в Западном водоеме. Состав обусловлен минералогепетрографическими особенностями разрушающихся коренных пород в основании бассейна. Необходимо отметить, что наблюдается тенденция увеличения обломочных минералов от центральной части водоемов к береговой. Это объясняется особенностями рельефа дна озер и характером упаривания заполняющих их вод.

Минеральный набор эвапоритовой ассоциации в Восточном и Западном водоемах существенно различается, это обусловлено разным гидрогеохимическим типом вод. Согласно схеме Курнакова — Валяшко [2], воды Восточного водоема могут быть отнесены к промежуточному типу между сульфатно-натриевыми и хлоридными, так как в составе рассолов присутствуют сульфат-ион и хлорид-ион, а воды Западного — к хлоридному типу [4]. Данные макрокомпонентного химического состава рассолов наиболее представительных образцов приведены в таблице 3.

Для Восточного водоема характерна кальцит-галит-тенардитовая ассоциация с примесью сульфатов: астраханита/блédита, ваттевиллита, эпсомита, эугстерита (содержание которых не превышает 3 %). Основным минералом выступает тенардит, его содержание — более 40 % от общего объема образца. Для Западного водоема наблюдается гипс-кальцит-галитовая ассоциация с примесью доломита, астраха-

Таблица 2. Количественное соотношение минеральных фаз в наиболее представительных образцах донных осадков водоемов урочища Талое озеро

Table 2. Quantitative correlation of mineral phases in the most representative samples of bottom sediments of the reservoirs of the tract Taloe Lake

№ обр. No sample	Место отбора Sampling place	Минеральный состав, % / Mineral composition, %												
		Хл	Гп	Ил	К	Астр	Кв	Пл	КПШ	Кц	Дл	Гл	Тн	А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Восточный водоем / Eastern reservoir														
1	Берег / Bank	сл	-	1,2	сл	2,9	20,9	1	сл	8,9	-	29,8	35,3	-
2	Берег / Bank	-	-	-	-	сл	19	-	-	9,7	-	8	63,3	-
3	Центр / center	-	-	1	1	-	12,2	-	-	5	-	10	70,8	-
Западный водоем / Western reservoir														
4	Берег / bank	1,5	5,2	2,1	2,7	2,9	53,2	9,2	1	13,9	3,2	5,1	5,4	-
5	Берег / bank	1,5	9,9	2,2	2,6	3,6	40,6	4,5	сл	11,9	4,4	18,8	-	-
6	Центр / center	-	14,7	1,4	-	4,5	40,9	4	1,4	10,4		10,3	-	7

Примечание: хл — хлорит, гп — гипс, ил — иллит, к — каолинит, астр — астраханит/блédит, кв — кварц, ал — альбит, кпш — калиевый полевой шпат, кц — кальцит, дл — доломит, гл — галит, тн — тенардит, а — арагонит, сл — следовое содержание (менее 1 %).

Note: хл — chlorite, гп — gypsum, ил — illite, к — kaolinite, астр — astrakhanite/bleedite, кв — quartz, ал — albite, кпш — potassium feldspar, кц — calcite, дл — dolomite, гл — halite, тн — tenardite, а — aragonite, сл — trace content (less 1 %).



Таблица 3. Макрокомпонентный состав рассолов урочища Талое озеро, мг/дм³
Table 3. Macro-component composition of the waters of the Taloe Lake tract, mg/dm³

№ пр. No Sample	Тип вод Type	М, г/л	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Западный водоем / Western reservoir											
1	П. в	30,4	6,4	641,3	407,4	0,0	79,3	59,5	6486	13201	4200
2		36,4	6,2	741,5	571,5	0,0	91,5	67,5	9530	15372	6000
3		35,9	7,2	761,5	541,1	0,0	109,8	72,2	8967	15459	6833
4		36,6	7,0	761,5	541,1	0,0	109,8	70,2	10535	15459	5500
5		33,7	6,7	701,4	851,2	0,0	79,3	102	5880	14417	3600
6	Г. в	108	7,0	1142	2346	0,0	994,6	72,5	30527	51069	5700
6'		104	6,9	1122	2128	0,0	988,5	68,4	29155	51243	6900
Восточный водоем / Eastern reservoir											
7	Г. в	85,3	8,5	10,0	188,5	51,0	2343,2	181,6	41650	43078	30000
8	П. в	4,7	8,3	34,1	38,9	0,0	561,4	15,3	2450	1024	8250

Примечание: п. в. — поверхностные воды, г. в — грунтовые воды. Note: п. в. — surface waters, г. в — ground waters.

нита/блédита, тенардита и арагонита. Также необходимо обратить внимание, что по направлению от береговой части водоемов к центральной наблюдается увеличение роли сульфатных минералов и уменьшение количества обломочных.

Более разнообразный минеральный состав в центральной части озер имеет двойственное объяснение. С одной стороны, это указывает на повышение степени минерализации остаточных вод в осевой зоне бассейна [11]. С другой стороны, разнообразие гидро-сульфатов может отражать их метастабильное состояние, связанное с сезонными изменениями гидроди-

намического, физико-химического и температурного режимов формирования эвапоритов [8].

Для оценки порядка выпадения твердых солей из рассолов проведены исследования на растровом электронном микроскопе.

Карбонаты (кальцит, доломит) кристаллизуются в виде призматических, столбчатых кристаллов, которые выступают в качестве каркаса, на котором развиваются минералы группы сульфатов и галлоидов (рис. 3, а). Гипс прослеживается по всей площади озер, он образует крупные пластинчатые и таблитчатые кристаллы, по которым могут нарастать другие

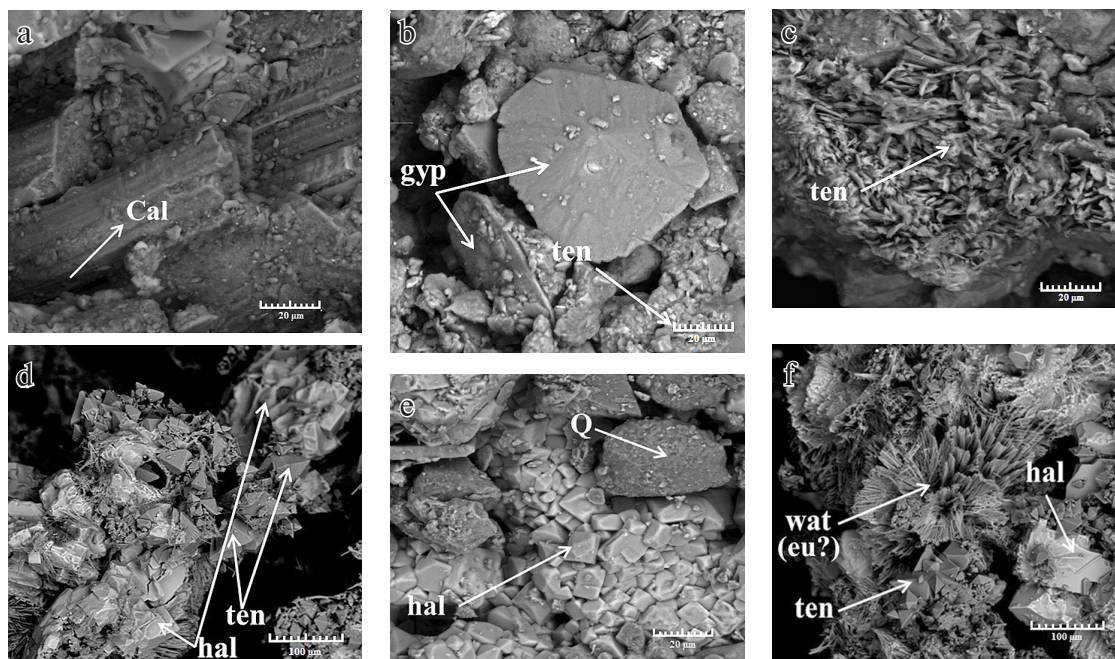


Рис. 3. Кристаллы эвапоритовых минералов донных осадков ур. Талое озеро: а — призматические кристаллы кальцита; б — пластинчатые кристаллы гипса, по которым развивается тенардит; с — кристаллы тенардита с береговой части водоема; д — кристаллы галита и тенардита с центральной части водоема; е — кубические кристаллы галита; ф — натечные кристаллы галита и дипирамидальные кристаллы тенардита, по которым развиваются игольчатые ваттевиллит и эугстерит. Условные обозначения: cal — кальцит, gyp — гипс, ten — тенардит, hal — галит, q — кварц, wat — ваттевиллит, eu — эугстерит

Fig. 3. Crystals of evaporite minerals of bottom sediments Taloe Lake: a — prismatic crystals of calcite; b — lamellar crystals of gypsum, according to which the tenardite develops; c — crystals of tenardite from the shore part of the reservoir; d — crystals of halite and tenardite from the central part of the reservoir; e — cubic halite crystals; f — gallite crystals and dipyramidal thenerite crystals on which needle-like wattlewillite develops. Note: cal — calcite, gyp — gypsum, ten — tenardite, hal — halite, q — quartz, wat — wattlewillite, eu — eugsterite



сульфатные минералы и галлоиды (рис. 3, b). Сульфат натрия — тенардит — может образовывать различные кристаллы в зависимости от удаленности от береговой линии. В более глубоководной части водоемов он образует крупные изометричные дипиромидальные кристаллы, по мере приближения к береговой зоне кристаллы становятся тонкими чешуйчатыми, пластинчатыми (рис. 3, c, d). Такое изменение формы кристаллов обусловлено тем, что в центральной части озер воды более минерализованные и кристаллизация минеральных фаз происходит в течение более длительного времени. Галит представляет собой натечные корки неправильной формы на поверхностях карбонатов, сульфатов и терригенных минералов (рис. 3, d). Также на гранях наблюдается ступенчатый излом, который отражает механизм роста кристаллов в условиях направленного потока. Реже встречаются изометричные кубические кристаллы галита (рис. 3, e). Сульфаты ваттевиллит, эугстерит и эпсомит присутствуют в следовых (менее 1 %) количествах и образуются на поверхностях кальцита, гипса и тенардита. Ваттевиллит и эугстерит имеют шестоватые, радиально-лучистые агрегаты (рис. 3, f). Эпсомит же характеризуется изометричными, дипирамидальными кристаллами.

На основании указанных взаимоотношений минеральных зерен образцов, отобранных с Восточного и Западного водоемов, можно восстановить следующую последовательность выпадения минералов эвапоритовой ассоциации, которая полностью соответствует схеме последовательной кристаллизации солей, установленной ранее М. Г. Валяшко [2]: кальцит → доломит → гипс → тенардит → галит → эугстерит → ваттевиллит → эпсомит. Последовательность выпадения солей определяется химическим составом солевого раствора.

Выводы

В результате проделанной работы установлено, что минеральный состав донных осадков определяется наличием двух минеральных ассоциаций: терригенной и эвапоритовой. Терригенная ассоциация включает в себя минералы не растворимые в воде. Эвапоритовая ассоциация объединяет минеральные фазы, которые выпадают при упаривании рассолов.

Минеральный состав донных осадков напрямую зависит от гидрогеохимического типа вод. Рассолы Восточного водоема, которые могут быть отнесены к промежуточному типу между сульфатно-натриевыми и хлоридными, имеют в своем составе соизмеримые количества тенардита и галита, а в чисто хлоридных водах преобладают галит и кальцит. Посредством изучения взаимодействия кристаллов установлена последовательность выпадения минеральных фаз эвапоритовой ассоциации: кальцит → доломит → гипс → тенардит → галит → эугстерит → ваттевиллит → эпсомит.

Литература

1. Архипов А., Иванова М., Тишин П. Зональность и минеральная ассоциация современных испарений в Южно-Минусинском бассейне на примере озера Талое и озера Ак-

Коль (Республика Хакасия) / 15-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM-2015, 18–24 июня 2015 г. (www.sgem.org), SGEM-2015: Труды конференции, ISBN 978-619-7105-31-5 / ISSN 1314-2704, Book 1. Vol. 1. С. 537–542.

2. Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 398 с.

3. Иванова М. О. Диагностика глинистых минералов отложений урочища Талое озеро (Республика Хакасия) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX международного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2016. Т. I. С. 145–147.

4. Иванова М., Тишин П., Архипов А. Минералогические и химические особенности рассолов и современных испарений озерного тракта Тало (Республика Хакасия) // 16-я Международная многопрофильная научная геоконференция SGEM 2016, 30 июня — 6 июля 2016 года (www.sgem.org), SGEM2016: Труды конференции, ISBN 978-619-7105-55-1 / ISSN 1314-2704, книга 1. V. 1. 389–396 с.

5. Кривовичев В. Г., Чарыкова М. В. Минеральные и физико-химические системы эвапоритов: геохимический и термодинамический аспекты // Записки Российского минералогического общества. 2016. Ч. CXLV. 2. 30–43 с.

6. Рusanов А. В. Результаты геологических исследований в окрестностях Абаканского солеваренного завода / Западно-Сибирский геологический трест. Томск, 1935.

7. Соколова Т. А., Дронова Т. Я., Толпешта И. И. Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К, 2005. 336 с.

8. Чарыкова М. В., Чарыков Н. А. Термодинамическое моделирование процессов эвапоритовой седиментации, СПб.: Наука, 2003. 261 с.

9. Dedić, Ž., Ilijanić, N., Miko, S., A mineralogical and petrographic study of evaporates from the Mali Kukor, Vranjkovići, and slane stine deposits (Upper Permian, Dalmatia, Croatia), *Geologia Croatica*, Volume 71. Issue 1. 2018. 19–28 pp.

10. PDF-4/Minerals 2014. International Centre for Diffraction Data. SN: Minc 1 401 28–1374.

11. Warren J. K., *Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits*. *Earth-Science Reviews* 98, 2010. 217–268 p.

References

1. Arkhipov A., Ivanova M., Tishin P. *Zonal'nost' i mineral'naya assotsiatsiya sovremennykh isparenii v Yuzhno-Minusinskom basseine na primere ozera Taloe i ozera Ak-Kol' (Respublika Hakasiya)* (Zonality and mineral association of modern evaporates in the South-Minusinsk basin by the example of Taloe lake and Ak-Kol lake (Khakassia Republic)). 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015, www.sgem.org, SGEM2015 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-31-5 / ISSN 1314-2704, June 18–24, 2015, Book 1, V. 1, 537–542 pp.

2. Valyashko M. G. *Geokhimicheskiye zakonomernosti formirovaniya mestorozhdeniy kaliynykh soley* (Geochemical regularities of formation of potassium salts). Moscow: MSU, 1962, 398 pp.

3. Ivanova M. O. *Diagnostika glinistykh mineralov otlozheniy urochishcha Taloye ozero (Respublika Khakasiya)* (Diagnosis of clay minerals of deposits Taloe ozero (Republic of Khakassia)). Proceedings of International symposium named



after Usov. Tomsk: Tomsk Polytechnical University, 2016. V. I, pp. 145—147

4. Ivanova M., Tishin P., Arkhipov A. *Mineralogicheskie i himicheskie osobennosti rassolov i sovremennyh isparenii ozernogo trakta Talo (Respublika Hakasiya)* (Mineralogical and chemical features of brines and modern evaporates of Taloe lake tract (Republic of Khakassiya)). 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, www.sgem.org, SGEM2016 Conference Proceedings, ISBN 978-619-7105-55-1 / ISSN 1314-2704, 30 June — 6 July, 2016, Book 1, V. 1, 389—396 pp.

5. Krivovichev V. G., Charykova M. V. *Mineralnyye i fiziko-khimicheskiye sistemy evaporitov: geokhimicheskiy i termodinamicheskiy aspekty* (Mineral and physical-chemical systems of evaporates), Proceedings of RMS, CH. CXLV, 2, 2016, 30—43 pp.

6. Rusanov A. V. *Rezultaty geologicheskikh issledovaniy v okrestnostyakh Abakanskogo solevarennogo zavoda* (Results of

geological studies near Abakan salt plant), Zapadno-Sibirskiy Geologicheskii trest, Tomsk, 1935.

7. Sokolova T. A., Dronova T. Ya., Tolpeshta I. I. *Glinistyye mineraly v pochvakh* (Clay minerals in soils). Grif i K, 2005, 336 p.

8. Charykova M. V., Charykov N. A. *Termodinamicheskoye modelirovaniye protsessov evaporitovoy sedimentatsii* (Thermodynamic modeling of evaporate sedimentation), St. Petersburg: Nauka, 2003, 261 pp.

9. Dedić, Ž., Ilijanić, N., Miko, S., A mineralogical and petrographic study of evaporates from the Mali Kukor, Vranjkovići, and slane stine deposits (Upper Permian, Dalmatia, Croatia), *Geologia Croatica*, V. 71, Issue 1, 2018, 19—28 pp.

10. PDF-4/Minerals 2014.-International Centre for Diffraction Data. SN: Minc 1 401 28—1374

11. Warren J. K., *Evaporites through time: Tectonic, climatic and eustatic controls in marine and nonmarine deposits.* *Earth-Science Reviews* 98, 2010, 217—268 p.



ИННОВАЦИИ В ПРИБОРНОЙ БАЗЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

INNOVATIONS IN INSTRUMENTAL BASE OF GEOLOGICAL RESEARCHES

A review of instrumental and methodological developments of employees of the Institute of geology for more efficient scientific researches of natural matter and mineral formation processes is presented. The main part of the developments includes hardware and devices for preparation of mineral samples. Also instrument complexes are developed to study physical properties of minerals, processes of their growth and transformation under the influence of physical fields. A large group of innovations includes inventions and patents based on new knowledge about the matter obtained in the process of scientific researches.

Инновации в области научных исследований обладают определенной спецификой, обусловленной ограниченной востребованностью разработанных продуктов. Может показаться, что тот или иной оригинальный прибор или новый способ получения или контроля процесса не представляет интереса для широкого внедрения и поэтому не заслуживает вложения средств. Но это далеко не так. Получение нового знания является главной целью таких разработок, и требовать «экономической эффективности» от подобного рода инноваций не совсем корректно. Второй, не самый главный, но важный мотив таких разработок обусловлен всем известным недостатком финансирования российской науки и невозможностью приобретения специализированных приборов, в основном зарубежного производства. Часть этих устройств и методик в настоящее время объективно устарела, поскольку в мире быстрыми темпами появляется различное новое научное оборудование, предназначенное для тех же целей, но оригинальные технические решения, реализованные в устройствах и методах в Институте геологии, заслуживают внимания.

Далеко не полный перечень, отражающий основные направления инноваций Института геологии Коми НЦ УрО РАН в области совершенствования аналитических методов изучения минерального вещества и охватывающий период последних 30 лет, включает:

- лабораторные сепараторы и делители измельченных проб горных пород;
- приборы для анализа газово-жидких включений и органического вещества в минералах и горных породах (вакуумная декрепитация, пиролизические приставки для газохроматографического анализа и др.);
- автоматизированную систему фотометрирования и расчета для спектрального анализа;
- модернизацию серийного спектроскопического оборудования, разработку и создание специализированной техники для изучения минералов методами спектроскопии;

— универсальную интерференционную установку для наблюдения и контроля процессов кристаллизации вещества при нормальных и высокопараметрических условиях;

— различные установки для модификации и синтеза минеральных веществ.

Лабораторные сепараторы измельченных горных пород, созданные в институте, реализуют принципы электромагнитного, электростатического, гравитационного и флотационного разделения минеральных компонентов. Имеется опыт по созданию установки с рентгеновской подсветкой для визуального поиска в потоке измельченной породы кристаллов алмаза и других хорошо люминесцирующих в рентгеновских лучах минералов. Такая установка использовалась нашими коллегами из ЗАО «Тимангеология» в ходе поисковых работ на алмазы на Вольско-Вымской гряде.

В ряде случаев разделительные установки или метод производства исполняющих их механизмов были запатентованы. В качестве примера приведем патент РФ № 2057696 (1996 г.) на способ изготовления желоба винтового сепаратора И. Х. Шумилова и И. Н. Бурцева. Винтовой желоб является главным рабочим органом винтовых сепараторов, от которого зависят технические данные и технологические показатели работы таких аппаратов. Задачей изобретения являлась разработка производительного и доступного способа изготовления винтовых аппаратов, обеспечивающего получение цельных винтовых поверхностей с различными геометрическими параметрами. Авторами было изготовлено несколько устройств: малый шлюз диаметром 17 см (он показан на фото 1) для извлечения ценных минералов из самых тонких фракций (менее 160 мкм) и большой шлюз диаметром 60 см для извлечения ценных минералов из фракций (0.5÷1.0) мм. Шлюзы в настоящее время применяются в лабораторных минерало-технологических исследованиях. Делитель проб А. В. Калиновского (А. С. 1422071 СССР, 1988) внедрен в практику пробоподготовки и широко используется в институте. Ряд устройств, реализующих термосорбционный способ разделения минералов, был создан под руководством О. Б. Котовой (патент РФ №2029629, 1995). В настоящее время эта группа работает над созданием оригинального магнитного сепаратора с повышенной напряженностью поля.

Газохроматографический анализ включений в минералах и горных породах дает богатейшую информацию об условиях минералообразования, о температуре, давлении и химическом составе природных растворов, может использоваться для получения информации о структуре твердых углеводородов, а также имеет прикладное значение при оценке качества минерального сырья, установления геохимических аномалий и т. д. Разработаны пиролизические приставки для нагрева образцов, приводящего к выделению газообразных продуктов из минералов и горных пород в атмосфере инертного газа. Их особенностью является

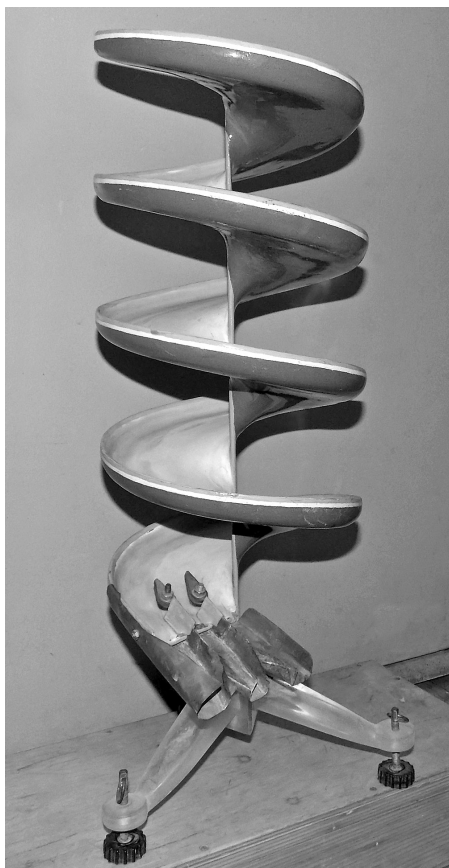


Фото 1. Малый винтовой шлюз

Photo 1. Small spiral gateway

возможность нагрева образцов и вскрытие включений при температурах вплоть до 1000 °С. Коллективом сотрудников (В. Ф. Куприянов, С. Н. Шанина, Д. А. Бушнев) созданы и эксплуатируются такие устройства к хроматографам, как «Цвет-800» и «Кристалл-2000» (фото 2).



Фото 2. Хроматограф «Цвет-800», дополненный пиролизической приставкой

Photo 2. Tsvet-800 Chromatograph, supplemented with a pyrolytic device

С помощью данной методики с высокой чувствительностью определяются газовые компоненты: H_2 , N_2 , NO , CO , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , C_3H_6 , C_3H_8 , $iso-C_4H_{10}$, $n-C_4H_{10}$, CO_2 , H_2O , HF , H_2S и SO_2 . Приставка к хроматографу «Цвет-800» используется также для

анализа флюидных включений кварца Приполярного Урала в связи с задачами исследования золоторудной минерализации. С ее помощью также изучен состав газов в промышленных типах особо чистого кварца крупнейших месторождений России, продуктов его обогащения и технологической модификации. Аппаратура успешно применяется для изучения органического вещества минералов и горных пород.

Газохроматографическое оборудование с пиролизическими приставками позволило определить качественный и количественный состав газовых компонентов продуктов пиролиза керогенов, выделенных из пород высокоуглеродистых отложений сланценосных толщ Республики Коми. Но для более полного изучения органических компонентов в сланцах необходимо раздельное изучение летучих компонентов, так называемой сланцевой смолы, и твердого остатка — полукокса. Приобретенный институтом анализатор ACR-M3 Tanaka Scientific Ltd (фото 3) предназначен для определения коксуемости нефтяного топлива по микрометоду в автоматическом режиме испарения/коксования нефтепродуктов в ходе нагрева до 500 °С в атмосфере инертного газа. Конструкция прибора не позволяла производить полноценный сбор газообразных и жидких продуктов, образующихся в ходе пиролиза.

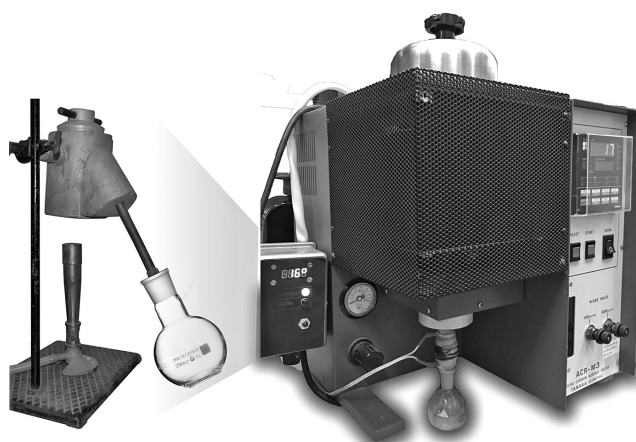


Фото 3. Реторта Фишера (слева) и анализатор ACR-M3 (Tanaka Scientific Ltd), укомплектованный блоком синхронизации температуры реактора и газоотводящих трубок

Photo 3. Fischer Retort (left) and ACR-M3 analyzer (Tanaka Scientific Ltd) with a unit for reactor temperature synchronization and exhaust tubes

И. А. Перовским, Г. В. Игнатьевым и Г. Г. Есевым была разработана система управляемого нагрева отводной трубки, нагревательные элементы которой выравнивают температуру по всей длине трубки с температурой реактора, программно изменяющейся в ходе анализа. В результате газообразные продукты пиролиза образца конденсируются в специальной ловушке и позволяют выполнять анализ различных природных образцов, в частности горючих сланцев и углей. Созданная система значительно совершенствует и фактически заменяет стандартный, но малопроизводительный ручной метод полукоксования в реторте Фишера (ГОСТ 3168-93 ИСО 647-74).

Центральное место в исследованиях физических свойств минералов в институте занимает спектроско-



Фото 4. Модернизированный спектрометр ЭПР SE/X 2547. На врезке показана плата считывания параметров усилительного тракта

Photo 4. Upgraded EPR SE/X 2547 spectrometer. The inset shows a reading board for parameters of amplification section

пия электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Функционирующий и в настоящее время компьютеризированный вариант радиоспектрометра SE/X 2547 RadioPAN был запущен в эксплуатацию в далеком 1989 г. Он был оснащен уже устаревшим даже к тому времени ПК на процессоре Zilog Z80, программно несовместимым с быстро развивающейся серией IBM PC. В 1994 г. В. П. Лютоевым и С. А. Рахматуллиным радиоспектрометр был полностью переведен под управление IBM PC (MS-DOS, Windows) с расширенным программным пакетом открытой архитектуры, включающим специальные пострегистрационные процедуры обработки спектров. Появилась возможность увеличения списка доступных математических процедур, представление спектров в стандартном спектроскопическом формате, пригодном для работы в большом количестве открытых спектроскопических программных продуктов в среде Windows. В дальнейшем интерфейс радиоспектрометра был снабжен блоком непрерывной передачи в управляющую программу компьютера всех установок усилительных ВЧ-трактов, что существенно снизило количество ошибок измерений при обработке массивов спектров. Разработаны и созданы система автоматического поддержания уровня жидкого азота в измерительном сосуде Дюара, различные гониометрические устройства для ориентировки монокристаллических образцов и другие специальные приспособления, ориентированные на исследования ЭПР минерального вещества.

К настоящему времени сформирована обширная цифровая коллекция спектров ЭПР различных веществ. Модернизированный радиоспектрометр наиболее интенсивно использовался при изучении кварца промышленных месторождений России и керна Кольской сверхглубокой скважины. За прошедшие годы с помощью данного прибора выполнено большое количество работ по изучению алмазов, карбонатов, силикатов, стекол и других природных минеральных объектов различного происхождения, а также различных синтетических неорганических материалов.

В период интенсивных исследований флюоритовых месторождений северо-запада России была соз-

дана (В. П. Лютоев, С. В. Коновалов) рентгенолюминесцентная установка, которая функционирует по настоящее время (фото 5). Основу установки составляет атомно-адсорбционный спектрометр AAS-1 (Carl Zeiss Jena). Монохроматор позволяет анализировать излучение в области 190—860 нм, в качестве источника рентгеновского излучения использован аппарат УРС-1.0 с возможностью дополнительного ультрафиолетового возбуждения. Приемником оптического люминесцентного излучения служит ФЭУ-106. Установка предназначена для получения спектров порошков, пластинок кристаллов и даже отдельных субмиллиметровых зерен. С помощью этой аппаратуры были получены важные сведения не только о флюорите, но и о структурных примесях и характеристиках промышленных концентратов особо чистого кварцевого сырья ряда месторождений России, изучены типоморфные особенности полевых шпатов, кварца и карбонатов из разреза Кольской сверхглубокой скважины. В настоящее время ведутся работы по переходу с аналоговой схемы регистрации спектров на цифровую.

В. И. Ракин разработал и создал универсальную интерференционную установку для неразрушаю-



Фото 5. Рентгенолюминесцентная установка, оператор Т. Н. Бушенева

Photo 5. X-ray luminescence device, operator T. N. Busheneva

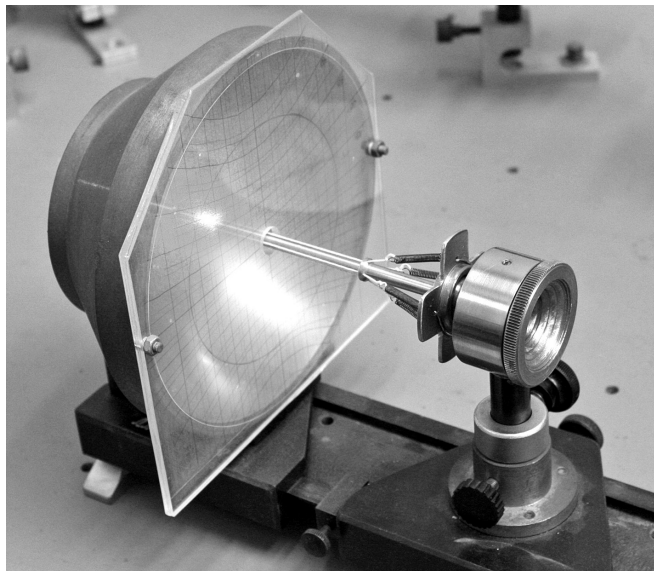


Фото 6. Параболический гониометр на виброзащитной плите интерференционной установки

Photo 6. Parabolic goniometer on vibroprotection plate of interference device

шего контроля объектов и процессов роста кристаллов. Установка монтируется на виброзащитной плите, укомплектована лазерами и обширным набором оптико-механических деталей, позволяющих реализовать различные методы голографической и лазерной интерферометрии, а также теневые методы. Отдельные компактные устройства представляют собой интерферометры Майкельсона и Жамена в двух вариантах исполнения — горизонтальном и вертикальном — для исследования небольших образцов и процессов в микрокуветах. Максимальная точность контроля поверхности растущего кристалла в реальном времени составляет 0.3 мкм, а показателя преломления среды кристаллизации — 10^{-4} . На установке можно размещать оптические камеры высокого давления, разработанные М. Ф. Щановым для изучения гидротермальных минералообразующих систем. В комплект установки входит параболический гониометр, предназначенный для кристаллографических исследований морфологии природных и искусственных кристаллов (фото 6). С помощью последнего проведены масштабные исследования морфологии природных алмазов Якутии, Бразилии, Урала.

В качестве примера пока не реализованной, но перспективной разработки в области синтеза минеральных веществ надо отметить установку, предложенную Т. Г. Шумиловой для синтеза модификаций углерода, в том числе алмазов, из газовой фазы с помощью СВЧ-плазмы по технологии CVD. Установка была задумана и предназначена для последующего сравнительного анализа продуктов синтеза в широком диапазоне условий с углеродными фазами природного происхождения, включая алмаз, графит, карбин и их природные композиты. Реализация этого проекта для расширения микро- и наноразмерных минералогических исследований является актуальной проблемой. В планах института также создание пиролитического анализатора химически связанных сорбированных газов для исследования нефтегазоматеринского потенциала осадочных бассейнов, в том

числе доманиковых и баженовских отложений. В качестве проб может выступать кероген, ископаемый уголь и любые другие содержащие вещество горные породы.

Большую часть инновационных разработок составляют патенты и изобретения сотрудников Института геологии. Полный их список, насчитывающий 73 наименования — с начала создания института до 2007 года, приведен в монографии «Перспективные геотехнологии» под редакцией академика Н. П. Юшкова (СПб.: Наука, 2010, 376 с.). За прошедшие 10 лет этот список можно дополнить пятью патентами:

— патент № 2296718 RU. МПК C02F 1/28, C02F 1/64, C02F 103/04. Способ очистки воды / Д. А. Шушков, О. Б. Котова, И. П. Пальшин. Опубл. 10.04.2007, бюл. № 10;

— патент № 2371384 RU. МПК C01B 31/06. Способ синтеза алмазов / О. Б. Котова, А. П. Петраков, Е. М. Тропников. Опубл. 27.10.2009, бюл. № 30;

— патент № 2638354 РФ, МПК B 01 J 20/32. Способ получения сорбента нефти и нефтепродуктов / Л. С. Кочева, А. П. Карманов, А. В. Кочанова; № 2016138920; заявл. 03.10.2016; Опубл. 13.12.2017, бюл. № 35;

— патент РФ № 2659275. Способ получения одномерных углеродных структур фотонного типа пиролизом этанола при повышенном давлении / Шумилова Т. Г., Медведев В. Я., Иванова Л. А., Марчук М. В., Исаенко С. И., Шевчук С. С. Приоритет от 31.12.2015. Опубл. 29.06.2018, бюл. № 19;

— патент РФ № 2659277. Способ получения трехмерных углеродных структур фотонного типа пиролизом этанола при повышенном давлении / Шумилова Т. Г., Медведев В. Я., Иванова Л. А., Марчук М. В., Исаенко С. И., Шевчук С. С. Приоритет от 31.12.2015. Опубл. 29.06.2018, бюл. № 19.

Подчеркнем, что данные разработки тесно связаны с научно-исследовательской работой авторов и с тематикой научно-исследовательских работ института. У сотрудников Института геологии, решающих не только научные, но и научно-технические задачи, есть большая надежда, что создаваемые ими оригинальные разработки будут востребованы не только в научных исследованиях, но и в работе фирм и компаний, тесно связанных с природным минеральным сырьем. К сожалению, обычной практикой, особенно в последнее время, является отсутствие обратной связи между фирмой-разработчиком недорогого научного оборудования и потребителем, имеющим конкретные запросы. Поэтому новшества и усовершенствования имеющихся приборов на месте часто выполняются не на должном современном потребительском уровне.

В последние годы молодежь Института геологии в связи с развитием инновационного вектора в российской науке активизирует свои планы по разработке и изготовлению новых приборов и устройств для научных и лабораторных исследований и готова к дальнейшему развитию инженерно-технической базы института, а также надеется на поддержку, в том числе финансовую, от администрации Федерального исследовательского центра.

**В. Лютоев, В. Ракин,
И. Бурцев, В. Куприянов**

ПАМЯТИ Н. Н. ГЕРАСИМОВА

Николай Николаевич Герасимов — заслуженный работник Республики Коми, заслуженный геолог Российской Федерации, опытный организатор производства, альпинист, путешественник, поэт, писатель

Николай Николаевич родился 19 мая 1956 года в деревне Ключи Костромской области, в 1978 году окончил Московский государственный университет. В Республике Коми Н. Н. Герасимов прошел путь от геолога объединения «Полярноуралгеология» до министра промышленности и энергетики РК, а затем и до вице-премьера Правительства Республики Коми. Более 40 лет своей жизни Николай Николаевич посвятил Коми краю. Родные, друзья и соратники вспоминают Николая Николаевича как высокого профессио-

IN MEMORY OF N. N. GERASIMOV

Nikolay Nikolayevich Gerasimov, Deputy Prime Minister of Komi Republic, Minister of Investments, Industry and Transport of the region died on November 2, 2018 in the 63rd year of life.

нала-геолога, опытного управленца, на которого всегда можно было положиться и доверить самое сложное дело. С Институтом геологии его связывали многие годы профессиональных и дружеских отношений. Николай Николаевич был членом ученого совета Института геологии Коми НЦ УрО РАН, членом редакционного совета журнала «Вестник». Ни один из поэтических геологических альманахов не обходился без его участия: как автора — писателя и поэта, как редактора.

Николай Николаевич Герасимов много сделал для развития геологической отрасли страны и Республики Коми. В одном из стихотворений Н. Н. Герасимова есть такие строки: «...На опорном краю державы...»*. Опорой державы останется в нашей памяти и сам Н. Н. Герасимов, для которого геология, забота о северном крае и людях, населявших его, являлась неотъемлемой частью его жизни.

Редакция Вестника

* Герасимов Н. Н. Счастье // А гора остается горой...: Литературный альманах. Сыктывкар: Геопринт, 2013. С. 144—145.

XXVII НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СТРУКТУРА, ВЕЩЕСТВО, ИСТОРИЯ ЛИТОСФЕРЫ ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКОГО СЕГМЕНТА»**27TH SCIENTIFIC CONFERENCE
«STRUCTURE, SUBSTANCE, HISTORY
OF LITHOSPHERE OF TIMAN-NORTHERN
URAL SEGMENT»**

At the Institute of Geology named after Academician N. P. Yushkin Komi SC UB RAS from November 27 to November 29, 2018, the 27th Scientific Conference «Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment» was held. The conference was funded by the Russian Foundation for Basic Research and Syktyvkar Branch of the Russian Mineralogical Society.

В Институте геологии им. академика Н. П. Юшкина Коми НЦ УрО РАН с 27 по 29 ноября 2018 года прошла XXVII научная конференция «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента». Конференция проводилась при финансовой поддержке РФФИ и сыктывкарского отделения РМО.

На открытии конференции к участникам с приветственными словами обратились академик РАН профессор А. М. Асхабов и ученый секретарь Института геологии к. г.-м. н. И. В. Козырева. Они по-

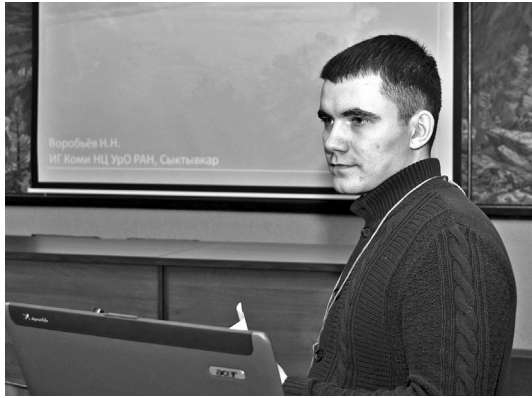


Лекция академика РАН А. М. Асхабова «К новому миру «обойденных величин»»

Lecture by RAS Academician A. M. Askhabov «Toward the new world of “neglected values”»

желали интересных докладов, плодотворных дискуссий и успехов всем собравшимся.

В конференции приняли участие более 100 молодых ученых, аспирантов и студентов из Сыктывкара, Ухты, Екатеринбурга, Москвы, Санкт-Петербурга,



Докладывает аспирант первого года обучения Н. Н. Воробьев (ИГ Коми НЦ УрО РАН)

Report by 1st year post-graduate student N. N. Vorobyov (Institute of Geology Komi SC UB RAS)



Докладывает м. н. с. Н. Г. Зверьков (ГИН РАН, Москва)
Report by junior researcher N. G. Zverkov (Geological Institute RAS, Moscow)



Самые морозоустойчивые участники выездного заседания конференции (слева направо: первый ряд — М. А. Соболева, А. М. Шмакова, Т. Р. Халимов, О. С. Котик, второй ряд — И. Н. Размыслов, А. Ш. Магомедова, В. А. Матвеев, А. И. Морохин)
The most frost-resistant participants of offsite meeting of Conference. (From left to right, first row — M. A. Soboleva, A. M. Shmakova, T. R. Khalimov, O. S. Kotik, second row — I. N. Razmyslov, A. Sh. Magomedova, V. A. Matveev, A. I. Morokhin)

Апатитов, Перми, Черноголовки, Архангельска, Петропальовска-Камчатска, Ростова-на-Дону, Петрозаводска, Баку, Ташкента и Караганды. Участники конференции представляли 26 научно-исследовательских, учебных и производственных организаций России и ближнего зарубежья. Более 60 тезисов докладов опубликованы в сборнике к началу конференции.

За два дня работы конференции были заслушаны пленарные, устные и стендовые доклады, сопровождающиеся демонстрационной графикой. Доклады молодых ученых не группировались по тематическим секциям, что позволило участникам конференции ознакомиться с научными результатами не только по своей специальности, но и смежным областям наук. Большинство представленных на конференцию докладов были посвящены исследованию арктической зоны Восточно-Европейской плиты, Тимана, Урала и сопредельных территорий.

Тематика докладов охватывала обсуждение широкого круга научных проблем, связанных с общей геологией, био-, лито- и хемотратиграфией, палеонтологией, событийной стратиграфией, региональной геологией, поиском и разведкой полезных ископаемых, нефтяной геологией, гидрогеологией, геофизикой,

нанотехнологией, минералогией, биоминералогией и новыми технологиями переработки минерального сырья. Лучшие доклады были отмечены дипломами, сертификатами и памятным подарками.

Во время работы конференции молодые ученые получили возможность прослушать лекции ведущих специалистов по минералогии, геофизике, палеонтологии, четвертичной геологии и экономике. Лекции прочли академик РАН А. М. Асхабов, д. г.-м. н. Л. Н. Андреичева, д. г.-м. н. В. И. Силаев, д. г.-м. н. Т. Г. Шумилова, к. г.-м. н. Н. Н. Носкова, к. э. н. М. М. Стыров и н. с. П. А. Безносков.

В последний день работы конференции прошло выездное заседание, на котором состоялось обсуждение наиболее важных и спорных вопросов. Участники конференции отметили высокий уровень её организации и проведения. Это дает основание считать проведенную конференцию успешной и полезной для молодых научных исследователей. Единогласно было принято решение о проведении следующей научной конференции «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» в ноябре 2019 года.

Кандидаты г.-м. наук
В. Матвеев, И. Котик

«ЗУБР» КЛАССИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

К 60-летию Виктора Алексеевича Салдина

PROFESSIONAL OF CLASSICAL GEOLOGY

To the 60th anniversary of Viktor Saldin

Viktor Saldin celebrated his 60th Anniversary on the 28th of November, he is Candidate of geological and mineralogical sciences, Head of Laboratory of lithology and geochemistry of sedimentary formations, a well-known specialist in geology of flysch formation of the northern part of the Pre-Ural Foredeep.

28 ноября 1958 года в с. Алексеевка Оренбургской области родился мальчик, названный Виктором. Ни Урал с Тиманом, ни образованный только что Институт геологии в далёкой Коми Республике не заметили этого события, как оказалось, напрасно.

Но обо всем по порядку. У Виктора было обычное детство и битловская шевелюра в отрочестве. Было множество событий и интересов, которые могли увести юношу в сторону от геологии. Но *извилистая* жизненная тропа привела уже не мальчика, но юношу Виктора через Бузулукский гидромелиоративный техникум и службу в армии *прямо* на геологический факультет Казанского государственного университета. После окончания университета линия жизни Виктора Салдина снова принялась рисовать причудливые зигзаги. Молодой специалист мечтал о Минералогии и Петрографии, но стал стратиграфом. Однако видя, как юноша мучается от неразделенной любви к другим направлениям Геологии, тогдашний начальник Виктора В. А. Чермных «подарил» его А. И. Елисееву.

Осадочные породы бывают разные — факт неопровержимый. Так какой же объект исследований выбрать, чтобы он удовлетворил и пылкую юношескую любовь к петрографии, и тягу юного геолога к черчению? «Есть такая формация!» — как бы в ответ на его мысли воскликнул А. И. Елисеев, и с тех пор Виктор Салдин начал заниматься изучением флишевой формации. Здесь молодой геолог развернул свои способности и навыки: изучал разрезы, минералогию и петрографию пород флиша, не забывая при этом уточнять стратиграфию и попутно находя новые барито- и фосфатопоявления. И таким образом, из мозаики тектонически разрозненных фрагментов и спутанных клубков многокилометровых разрезов была сложена четкая картина строения верхнепалеозойского флиша западного склона севера Урала и восстановлена история его развития, что способствовало ни много ни мало новому



пониманию процесса формирования Предуральского краевого прогиба в его северной части.

После защиты кандидатской диссертации Виктор Алексеевич Салдин стал руководителем лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций. Причем руководит он весьма мудро, по принципу академика С. П. Капицы: «Руководить — значит не мешать хорошим людям работать».

За более чем 30-летнее пребывание в стенах Института геологии Виктор Алексеевич Салдин стал геологом широкого профиля, настоящим классическим геологом, освоив палеонтологию, минералогию, литологию, стратиграфию и тектонику. За консультациями к нему постоянно обращаются коллеги из института и других организаций. Знания и опыт Виктора Алексеевича востребованы и в других областях геологических знаний. Успел он «наследить» и при изучении пайхойского марганца и удорских сланцев, южно-тиманских аллитов, кварца Манитаньрда, яренских цеолитов и других полезных ископаемых. А недавно, говорят, во время отпуска, он «совершенно случайно» наткнулся на новое местонахождение остатков юрских морских рептилий.

Друзья и коллеги знают Виктора Алексеевича Салдина как душевного человека, прекрасного геолога, неутомимого путешественника, чей «мелькает лик по родникам» севера Урала, Пай-Хоя, Тимана, Печорской плиты и Русской равнины, Горного Алтая, Камчатки и т. д. Всего и не перечислишь.

Желаем Виктору Алексеевичу удачного продолжения всех его начинаний и увлечений!

Редакция Вестника

Хроника

20 и 26 ноября в Институте геологии заседали комиссия по приемке полевых материалов.

27—29 ноября в Институте геологии прошла XXVII научная конференция «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» (при поддержке РФФИ и сыктывкарского отделения РМО).

28 ноября — 60-летний юбилей руководителя лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций к. г.-м. н. В. А. Салдина.

Chronicle

November 20, 26 Commission for acceptance of field materials was held in the Institute of geology.

November 27—29 the 27th scientific conference «Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment» was held in the Institute of geology supported by RFBR and Syktvkar branch of RMS

November 28 — the 60th Jubilee of PhD V. A. Saldin, Head of Laboratory of lithology and geochemistry of sedimentation formations.

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ICAM-2019 ПО НАПРАВЛЕНИЯМ

1. Геометаллургия, технологическая минералогия и процессы переработки минерального сырья.
2. Индустриальные минералы, драгоценные камни, руды и добыча полезных ископаемых.
3. Нефтяные и газовые коллекторы, в том числе газоды. гидраты.
4. Аналитические методы, приборы и автоматизация.
5. Перспективные материалы с улучшенными характеристиками, в том числе техническая керамика и стекло.
6. Строительное материаловедение.
7. Биомиметические материалы на минеральной основе, биоминералогия.
8. Окружающая среда и энергетические ресурсы.
9. Культурное наследие, артефакты и их сохранность.

Контрольные сроки подачи докладов: 1 марта 2019 г.

ТРАНСПОРТ



Конгресс состоится на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова.

Добраться до Белгорода из Москвы и Санкт-Петербурга можно самолётом (показано на карте) и по железной дороге: из Москвы два ежедневных высокоскоростных поезда отправляются с Курского вокзала, время в пути около 7 часов.

МАТЕРИАЛЫ КОНГРЕССА

Материалы Конгресса будут опубликованы издательством Springer отдельным сборником (международная библиографическая база данных Scopus).

Участники представляют материалы доклада с оригинальными научными результатами на английском языке в рамках тем научной программы. Ссылка для подачи материалов доклада доступна в личном кабинете участника после оплаты регистрационного взноса. Материалы доклада оформляются по шаблону, размещённому на сайте Конгресса.

Регистрационный взнос Конгресса, который предусматривает издание трудов, до 1 марта 2019 года составляет льготную сумму в размере 300 евро (для российских участников в рублёвом эквиваленте на день оплаты). Студенты, аспиранты и докторанты, а также неработающие пенсионеры могут принять участие в Конгрессе, заплатив специальный регистрационный взнос в размере 150 евро при представлении документа, подтверждающего указанный статус. Предусмотрено участие делегатов во всех мероприятиях Конгресса (заседания, выставки), кофе-брейки, обеды, экскурсия на Лебединский ГОК.

В рамках Конгресса будет работать **ВЫСТАВКА** аналитического оборудования известных в мире фирм, нацеленных на потребности горнодобывающих, научно-исследовательских и других организаций, деятельность которых связана с прикладной минералогией.

На книжной **ВЫСТАВКЕ** участники смогут приобрести продукцию ведущих издательств.

Для получения дополнительной информации о спонсорстве, пожалуйста, свяжитесь с нами.

Подробная информация
на geo.komisc.ru/icam2019

По всем вопросам можно обращаться:
kotova@geo.komisc.ru

ПОЛЕВЫЕ ЭКСКУРСИИ

Белгородская область

- ♦ Лебединский горно-обогатительный комбинат (во время проведения Конгресса, бесплатно для делегатов)
Лебединский ГОК — крупнейшее в России и СНГ предприятие по добыче и обогащению железной руды, производству высококачественного железорудного сырья и металлургической продукции, единственный в России и СНГ производитель горячебрикетированного железа (ГБЖ).



Республика Карелия

- ♦ Горная дорога (после проведения Конгресса, платно)
Экскурсия по маршруту Институт геологии КарНЦ РАН – «Рудный парк Тулмозеро» – горный парк «Рускеала» по территории России, далее на территории Финляндии горный музей в Оутокумпу – национальный парк «Коли» – музей горняцкого поселения Мёксе.



Подробности, включая стоимость экскурсий, смотрите на сайте Конгресса
geo.komisc.ru/icam2019/fieldtrips

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ

- ♦ Роль прикладной минералогии в исследовании индустриальных минералов (опыт работы Комиссии по технологической минералогии РМО).

Лектор: проф., д.г.-м.н. В.В. Шипцов, заведующий отдела минерального сырья Института геологии КарНЦ РАН

Регистрация открыта на geo.komisc.ru/icam2019/APIM

Приглашаем ведущих ученых
к проведению научных школ!

Форму можно найти на сайте Конгресса
geo.komisc.ru/icam2019/workshops

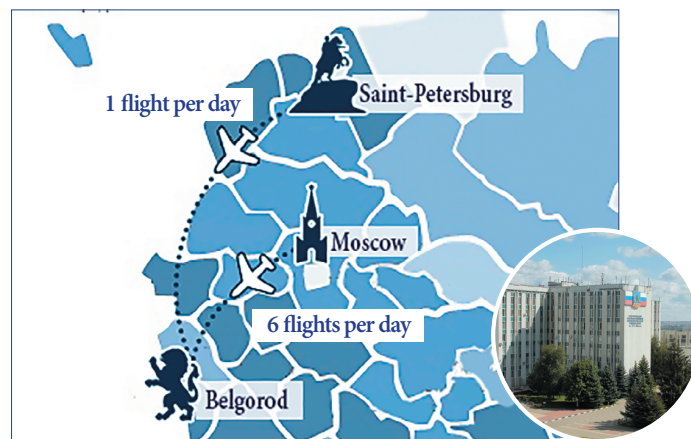
Организаторы

ICAM 2019 THEMES

- T1:** Geometallurgy, technological mineralogy and processing of mineral raw.
- T2:** Industrial minerals, precious stones, ores and mining.
- T3:** Oil and gas reservoirs, including gas hydrates.
- T4:** Analytical methods, instrumentation and automation.
- T5:** Advanced materials with improved characteristics, including technical ceramics and glass.
- T6:** Building materials.
- T7:** Biomimetic materials on a mineral basis, biomineralogy.
- T8:** Environment and energy resources.
- T9:** Cultural heritage, artifacts and their preservation.

Deadline for paper submission: March, 1, 2019

TRAVEL TO BELGOROD



14th International Congress for Applied Mineralogy (ICAM2019) will be held at Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, Russia, Belgorod.

You can reach Belgorod from Moscow and St. Petersburg by plane (shown on the map), from Moscow by rail: two daily high-speed trains depart from Kursk railway station. Travel time is around 7 hours.

CALL FOR PAPERS

ICAM2019 Proceedings will be published by Springer Science in a fully indexed volume (Scopus).

Delegates are invited to submit original manuscripts not published elsewhere before, within the themes of the ICAM 2019. Manuscripts MUST be submitted through the online editorial system; submissions via postal mail or email will NOT be considered. Manuscripts are strictly limited to four (4) typeset pages, including title, authors and affiliations, keywords, main text, literature references, figures, and tables. For students, postgraduates and retired, paying a fee of 150 euros, manuscripts are strictly limited to two (2) typeset pages. A template for manuscript preparation is available at the Congress web-page.

The **Congress registration fee** includes Congress Proceedings (to be published by Springer Science), access to all Congress events (technical sessions, meetings, exhibition), coffee and tea breaks, lunches, technical visit to the Lebedinsky Processing Plant. Until March, 1, 2019, the early registration fee is 300 EUR. A reduced registration fee of 150 EUR applies for students, postgraduates and doctoral students, as well as non-working retirees (proof of status required with registration).

Analytical equipment from world renowned companies, aimed at the needs of mining, research and other organizations, which activities are related to applied mineralogy, will be presented at ICAM2019 **EXHIBITION**.

At the **BOOK EXHIBITION**, participants will be able to purchase books from leading publishers.

For additional information regarding sponsorship please contact us.

Detailed information on
geo.komisc.ru/icam2019

If you have any questions, please contact :
kotova@geo.komisc.ru

FIELD TRIPS

Belgorod region

- ♦ Lebedinsky mining-processing plant (during the Congress, free for delegates)

Lebedinsky MPP is the largest enterprise in Russia and the CIS for the extraction and enrichment of iron ore, production of high-quality iron ore and metallized products, the only producer of hot briquetted iron (HBI) in Russia and the CIS.



Republic of Karelia

- ♦ Mountain road (Post-Congress, paid)

Fieldtrip along the route of the Institute of Geology of the Karelian SC RAS - "Tulmozerie Ore Park" (the history of hematite ore mining in Karelia) - Ruskeala Mountain Park (marble mines from the end of the 18th century) in Russia, then in Finland Outokumpu Museum (history of the development of a copper-nickel deposit) - Koli National Park - the museum of the mining town Myokhke.



Details, including the cost of the tour, see at the Congress website
geo.komisc.ru/icam2019/fieldtrips

WORKSHOPS

- ♦ The role of applied mineralogy in the study of industrial minerals (experience of the Commission for Technological Mineralogy of the Russian Mineralogical Society).

Lecturer: Prof., Doctor of Geology and Mineralogy Vladimir Shchiptsov, Head of the Mineral Resources Department, Institute of Geology, KarSC RAS

Registration is open at geo.komisc.ru/icam2019/APIM

We invite leading researchers to hold workshops!

Application form can be found at the Congress website
geo.komisc.ru/icam2019/workshops

14th ICAM Organizers



Министерство образования и науки Российской Федерации • Федеральный исследовательский центр «Коми НЦ УрО РАН» • Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации • Федеральное агентство по недропользованию • Правительство Республики Коми



XVII Геологический съезд Республики Коми ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Сыктывкар • 16–18 апреля 2019 г.

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА СЪЕЗДА

Организационный комитет XVII Геологического съезда Республики Коми приглашает исследователей недр — геологов, горняков, технологов, экономистов, всех заинтересованных лиц — для представления последних достижений в области геологического изучения Европейского Северо-Востока России, в том числе территорий Крайнего Севера и Арктической зоны Российской Федерации, подготовки и оценки минерально-сырьевой базы, ее освоения традиционными и нетрадиционными методами, для демонстрации опыта применения новых технологий, методов и средств, обсуждения основных результатов геолого-разведочных работ, проблем недропользования, оценки состояния современного использования минеральных ресурсов в Республике Коми и Российской Федерации.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ СЪЕЗДА

- Региональная геология, тектоника, геодинамика
- Стратиграфия, палеонтология, геохронология
- Геохимия, минералогия, петрология
- Седиментогенез, эволюция осадочных бассейнов
- Геология, поиски и разведка месторождений горючих, рудных и нерудных полезных ископаемых, гидрогеология
- Проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов региона, недропользование, геоэкология
- Новые геотехнологии, новые методы и средства
- История геологических исследований, геологическое наследие, геологическое образование

Цель нынешнего съезда — показать современный минерально-сырьевой потенциал региона, определить дальнейшие направления развития геолого-разведочной отрасли и минерально-сырьевого комплекса с учетом приоритетов и задач научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации, стратегии социально-экономического развития Республики Коми.

Научная программа совещания предусматривает пленарные доклады по основным направлениям, проведение секционных заседаний, рассмотрение стендовых докладов и дискуссии.

Материалы при необходимости сопровождаются актами экспертизы.

Электронные варианты тезисов присылаются на электронном носителе, через форму на сайте или по электронной почте. Каждый участник может быть соавтором не более двух докладов.

Планируется публикация материалов съезда в виде сборника к началу мероприятия. Материалы размещаются постатейно в базе данных научной электронной библиотеки Elibrary.ru.

КОНТРОЛЬНЫЕ СРОКИ

Представление докладов: до 1 марта
Рассылка программы съезда: 18 марта

АДРЕСА И РЕКВИЗИТЫ

Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального центра Уральского отделения Российской академии наук»

ул. Первомайская, д. 54, Сыктывкар, 167982

XVII Геологический съезд Республики Коми

Телефоны: (8212) 24-53-53 — приемная директора Института геологии Коми НЦ УрО РАН, (8212) 44-71-51 — Козырева Ирина Владимировна (ответственный секретарь оргкомитета)

Факс: (8212) 24-09-70, 24-53-46

Эл. почта: geo17@geo.komisc.ru

Сайт: www.geo.komisc.ru/news/conferences/geo17

Оргкомитет с благодарностью примет предложения финансовой и организационной поддержки съезда. Возможно размещение рекламы в материалах съезда.

Банковские реквизиты:

ОГРН 1021100511332

ИНН 1101481574 КПП 110145004

Отдел № 1 УФК по Республике Коми, ИГ Коми НЦ УрО РАН лицевой счет № 20076127201

р/сч № 40501810500002000002 в Отделении НБ Республики Коми в г. Сыктывкаре
БИК 048702001

В назначении платежа: добровольное пожертвование на проведение геологического съезда



17th Geological Congress of Komi Republic GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES OF EUROPEAN NORTH-EAST OF RUSSIA Syktyvkar • April 16–18, 2019

SCIENTIFIC PROGRAM OF THE CONGRESS

The Organizing Committee of the 17th Geological Congress of Komi Republic invites researchers of mineral resources — geologists, miners, technologists, economists, all interested people — to present the latest achievements in the field of geological study of the European North-East of Russia, including territories of the Far North and the Arctic zone of the Russian Federation, preparation and evaluation of the mineral resource base, its development by traditional and non-traditional methods, demonstration of the experience of applying new technologies, methods and tools, discussion of main results of geological exploration, mineral resources use problems, assessing the state of modern use of mineral resources in Komi Republic and the Russian Federation.

MAIN TRENDS OF THE CONGRESS

- Regional geology, tectonics, geodynamics
- Stratigraphy, paleontology, geochronology
- Geochemistry, mineralogy, petrology
- Sedimentogenesis, evolution of sedimentary basins
- Geology, prospecting and exploration of deposits of combustible, ore and non-metallic minerals, hydrogeology
- Problems of development of mineral resources of the region, mineral resources use, geo-ecology
- New geotechnologies, new methods and tools
- History of geological researches, geological heritage, geological education

The purpose of this congress — to show modern mineral raw potential of the region, to determine trends of development of geological exploration industry and mineral resource complex, considering priorities and objectives of the scientific, technological and social-economic development of the Russian Federation, strategy of social-economic development of Komi Republic.

The scientific program of the meeting includes plenary reports on main trends, section meetings, observation of poster presentations and discussions.

Materials, if necessary, are accompanied by acts of expertise.

Electronic versions of abstracts are sent on electronic media, through the form on the website or by e-mail. Each participant can be a co-author of no more than two reports.

The Proceedings of the Congress are to be published by the beginning of the event. The materials are posted article by article in Elibrary.ru database

DEADLINES

Submission of reports: March 1
Congress program mailing: March 18

ADDRESSES AND REQUISITES

The Institute of Geology named after Academician N. P. Yushkin of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences is a separate division of the Federal State Budgetary Institution of Science of the Federal Research Center «Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences»

54 Pervomayskaya st., Syktyvkar, 167982, Russia
XVII Geological Congress of the Republic of Komi

Phones: +7 (8212) 24-53-53 — Reception Office of Director of the Institute of Geology, Komi SC UB RAS

+7 (8212) 44-71-51 — Kozyreva Irina Vladimirovna
(Executive Secretary of the Organizing Committee)

Fax: +7 (8212) 24-09-70, 24-53-46

Email: geo17@geo.komisc.ru

Website: www.geo.komisc.ru/news/conferences/geo17

The Organizing Committee will gratefully accept proposals for financial and organizational support of the Congress. Advertising in the congress proceedings is possible.

Ответственный за выпуск:

Е. С. Пономаренко

Редакторы издательства:

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

Компьютерная верстка:

А. Ю. Перетягин

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-56817 от 29.01.2014, выданное Роскомнадзором.

Отпечатано: 28.12.2018. Формат бумаги 60×84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 8,0. Тираж 140. Заказ 1099.

Уредитель: ИГ Коми НЦ УрО РАН, обособленное подразделение ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Адрес: 167982, Сыктывкар, Первомайская, 54.

Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии Коми НЦ УрО РАН.

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. E-mail: vestnik@geo.komisc.ru

На обложке использованы фото И. Астаховой, Н. Ильиной, А. Перетягина