



Содержание

Научные статьи

- | | |
|---|--|
| Новые данные о сейсмичности северной части Урала
<i>Н. Н. Носкова</i> 3 | Рентгенотомографический метод микропалеонтологического изучения кремнистых пород
<i>А. В. Журавлев, А. И. Герасимова</i> 26 |
| Первая находка банальсит-стрональсита на Урале
<i>Е. В. Медведева, А. Б. Немов, В. А. Котляров</i> 13 | Как называть карбонатсодержащую породу? (Из опыта практической работы)
<i>Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис</i> 33 |
| Принципиальная термохимическая технология переработки циркон-бадделеитовых концентратов
<i>Е. Г. Лихникевич, Е. Н. Левченко, О. А. Якушина, А. С. Фатов</i> 18 | |

Хроника, события, факты

- | | |
|--|---|
| От Урала до хребтов Калифорнии
<i>А. Соболева, О. Удоротина</i> 38 | В зеркале прессы
<i>Е. Калинин</i> 41 |
| Академическая лыжня и Академиада-2016
<i>Д. Ефимов, Д. Машин</i> 40 | Презентация новых изданий 42 |
| | Риф А. И. Антошкиной (к 70-летию юбилею) 44 |

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

Редакционный совет — 2016:

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



March, No. 3 (255), 2016

Vestnik



Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS

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

Content

Scientific articles

New data on northern Urals seismicity <i>N. N. Noskova</i>	3	XMT micropalaeontological study of the silicites <i>A. V. Zhuravlev, A. I. Gerasimova</i>	26
First find of banalsite-stronalsite in Ural <i>E. V. Medvedeva, A. B. Nemov, V. A. Kotlyarov</i>	13	How to designate a carbonate-bearing rock? (From the practice experience) <i>Ya. E. Yudovich, M. P. Ketris</i>	33
Principal thermochemical technology of zircon-baddeleyite concentrates processing <i>E. G. Likhnikovich, E. N. Levchenko, O. A. Yakushina, A. S. Fatov</i>	18		

Chronicle, events, facts

From the Urals to California Ranges <i>A. Soboleva, O. Udoratina</i>	38	Media Mirror <i>E. Kalinin</i>	41
Academic ski-run and Academiada-2016 <i>D. Efimov, D. Mashin</i>	40	New publications	42
		A. I. Antoshkina's reef (to the 70th Anniversary)	44

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

Editorial Board:

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

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

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ УРАЛА

Н. Н. Носкова

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

Представлены результаты инструментальной обработки землетрясений 2012–2015 гг. на Северном, Приполярном и Полярном Урале. Сейсмические события приурочены к крупнейшим надвигам уралитов в Западной, Осевой и Восточной структурных зонах. Территория Северного — Полярного Урала характеризуется слабой рассеянной сейсмичностью. Фиксируемые землетрясения являются верхнекоровыми и могут быть обусловлены горизонтальными унаследованными движениями по крупнейшим позднепалеозойским надвигам.

Ключевые слова: землетрясение, магнитуда, слабая сейсмичность, Урал, сутура, надвиги.

NEW DATA ON NORTHERN URALS SEISMICITY

N. N. Noskova

Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

We present the results of instrumental data processing of the earthquakes recorded in 2012–2015 in the Northern, Subpolar and Polar Urals. The earthquakes were confined to the Main Ural Fault, to the junction zone of Western, Axial and Eastern structural zones. The territory of the Northern and Polar Urals is characterized by a low-magnitude diffused seismicity. The recorded seismic events in the Urals occurred in the upper crust and could be caused by horizontal movements on the largest Late Paleozoic overthrusts.

Keywords: earthquake, magnitude, low-magnitude seismicity, Urals, suture, overthrust.

Введение

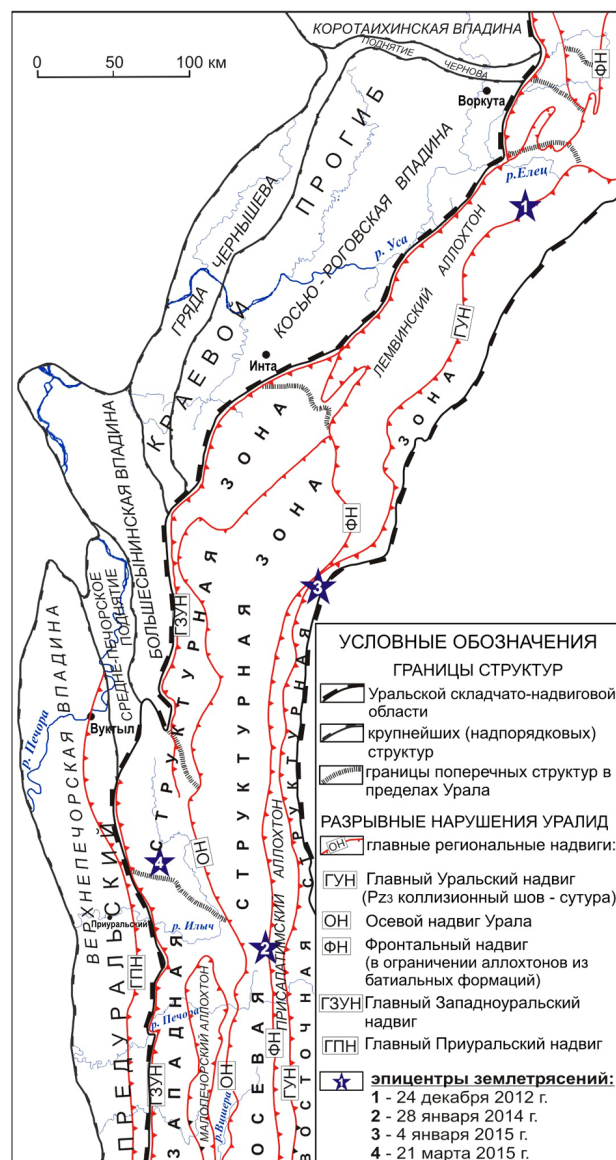
Уральский складчатый пояс характеризуется относительно слабой сейсмичностью и редко возникающими здесь землетрясениями. Подавляющее большинство землетрясений локализованы в пределах средней и южной частей, в так называемой Среднеуральской области повышенной сейсмичности [3], охватывающей восточную часть Восточно-Европейского кратона и Среднеуральскую область горно-складчатого пояса. Сведений о природной сейсмичности севера Урала до недавнего времени не было.

Это распределение объясняется различиями в геологическом строении. На Среднем и Южном Урале в районах развития карстовых пустот происходят обвальные или обвально-карстовые (карстово-провальные) землетрясения. Также концентрация сейсмических событий обусловлена и тем, что по сравнению с северной частью Средний и Южный Урал являются более развитыми горнодобывающими регионами, промышленными центрами, с крупными агломерациями и гораздо большей плотностью населения. Горные работы вызывают интенсивные техногенные процессы, прежде всего различные проявления сейсмичности (наведенная сейсмичность, которая включает в себя возбужденную и триггерную, горно-тектонические удары и т. п.). Техногенная нагрузка северной части Урала гораздо меньше. Слабая сейсмичность здесь обусловлена малой скоростью деформации земной коры на современном этапе.

В статье нами рассматриваются зафиксированные инструментально сейсмические события природного характера — землетрясения, произошедшие на Полярном, Приполярном и Северном Урале 24 декабря 2012 г., 28 января 2014 г., 4 января 2015 г. и 21 марта 2015 г. (рис. 1).

Рис. 1. Фрагмент структурно-тектонической карты Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [9] с эпицентрами уральских землетрясений

Fig. 1. Fragment of structural-tectonic map of Timan-Pechora oil and gas province [8] with epicenters of Ural earthquakes



Материалы и методы исследования

На территории Республики Коми функционируют три сейсмологических пункта Института геологии (ИГ) Коми НЦ УрО РАН — в г. Сыктывкаре (SYK), в с. Грива (GRV) и в с. Пожог Усть-Куломского района (PZG — установлена в декабре 2014 г.) (рис. 2). Станции оснащены регистраторами SDAS и UGRA (ООО «НПП Геотех+», Обнинск совместно с ГС РАН) и короткопериодными сейсмометрами (0.1–20 Гц) CM3-KB с 16-разрядным (SDAS) и 24-разрядным (UGRA) АЦП.

Кроме собственных сейсмических записей в обработку привлекались данные сейсмических станций Пермской, Архангельской сети Геофизической службы (ГС) РАН и Института экологических проблем Севера УрО РАН, Кольского филиала ГС РАН (Апатиты), сейсмической станции Арти (ARU) (международной сети IRIS совместно с ГС РАН, Обнинск), а также финских и норвежских сейсмологических сетей (рис. 2). Станции соседних сейсмологических центров ГС РАН гг. Пермь, Архангельск и Апатиты являются важной составляющей в регистрации землетрясений на территории Республики Коми.

В настоящее время без привлечения сейсмических записей соседних сейсмологических центров расчет координат и параметров эпицентров сейсмических событий невозможен по причинам:

- плохого окружения эпицентров из-за малого количества сеймостанций, недостаточного для определения положения эпицентра и их размещения в южных районах республики;
- низкого соотношения сигнал/помеха, связанного с высоким уровнем техногенных помех в районе установленных сейсмических станций;
- нестабильности работы устаревшей сейсмической аппаратуры.

Обработка записей сейсмических событий выполнялась в программном комплексе WSG (разработка Геофизической службы РАН и ООО «НПП Геотех+») с использованием годографа для Восточно-Европейского кратора по данным Международного центра данных СТВО IDC (Австрия) [16–24], по методике, принятой в ГС РАН. Нами также проводились расчеты по годографу для Восточно-Европейского кратора по данным Ю.К. Шукина [7, 13]. Стоит отметить практически полную сходимость координат эпицентров уральских землетрясений, рассчитанные по этим двум годографам, разница в локации эпицентра составляет 12 км. По годографу Ю. К. Шукина гипоцентры исследуемых событий располагаются на глубине 5 км.

Результаты

24 декабря 2012 г. на севере Республики Коми, южнее г. Воркуты, под аллохтонным горным массивом Пайер произошло сейсмическое событие (рис. 1). В обработке землетрясения использовались записи сейсмических станций ГС РАН: Архангельской сети — AMD (Амдерма), KLM (Климовская), PRG (Пермогорье), Пермской сети — PR1 (Романово), PR3 (Кунгур), PR4 (Власы), Кольского Филиала (КФ) ГС РАН — APA0 (Апатитский ARRAY), а также записи норвежских станций ARA0 (ARCESS Array) и SPA0 (Spitsbergen Array, Norway) и сеймостанции Сыктывкар (SYK). Ближайшая к эпицентру сеймостанция — AMD (3.2°), самая удаленная — Spitsbergen Array (17.7°). На рис. 3 представлены записи землетрясения 24 декабря 2012 г. различными сейсмологическими станциями.

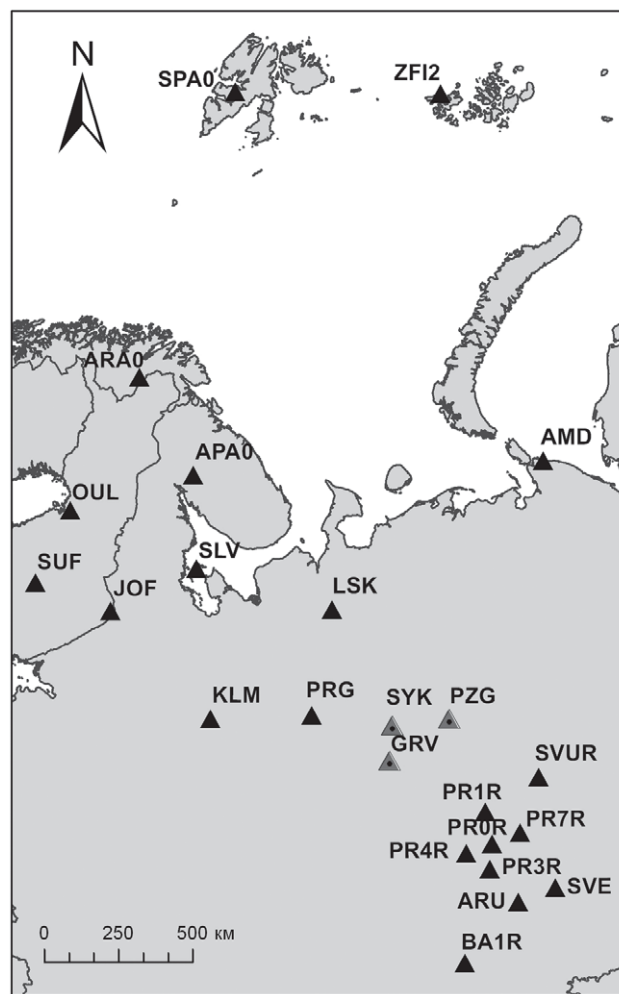


Рис. 2. Расположение сеймостанций, привлекаемых для обработки сейсмических событий

Fig. 2. Location of seismic stations involved in the processing of seismic events

Параметры землетрясения, рассчитанные нами: время в очаге (t_0) 06^h22^m39^s, координаты 66.768N, 64.360E, очаг расположен на глубине $h=11$ км, магнитуа $M_s=3.7$. Данное событие зафиксировано большим количеством сеймостанций по всему миру и были получены решения в ряде сейсмологических центров (табл. 1). На сайте Международного сейсмологического центра (ISC, Англия) [25] представлен бюллетень землетрясения 24 декабря более чем по 80 станциям со всего мира с эпицентрными расстояниями от 3.25° (D_{min}) до 83.86° (D_{max}) и азимутальным окружением 9–359°. Максимальная азимутальная брешь (Gap) составила 47°. Число используемых фаз — 174.

Ближайшими населенными пунктами к эпицентру землетрясения 24 декабря 2012 г. являются поселки Сивая Маска и Елецкий, расстояния до эпицентра составили 80 и 33 км соответственно. Нами были сделаны запросы в эти населенные пункты. Макросейсмическое обследование показало, что сейсмическое событие жителями там не ощущалось. Вероятно, это объясняется тем, что поселки представляют собой железнодорожные станции, где постоянно курсируют поезда, тяжелая техника, тем более что землетрясение произошло в понедельник, в рабочее время (10:22:39 по местному времени). Стоит также учитывать слабую заселенность рассматриваемого района, что усложняло опрос жителей.

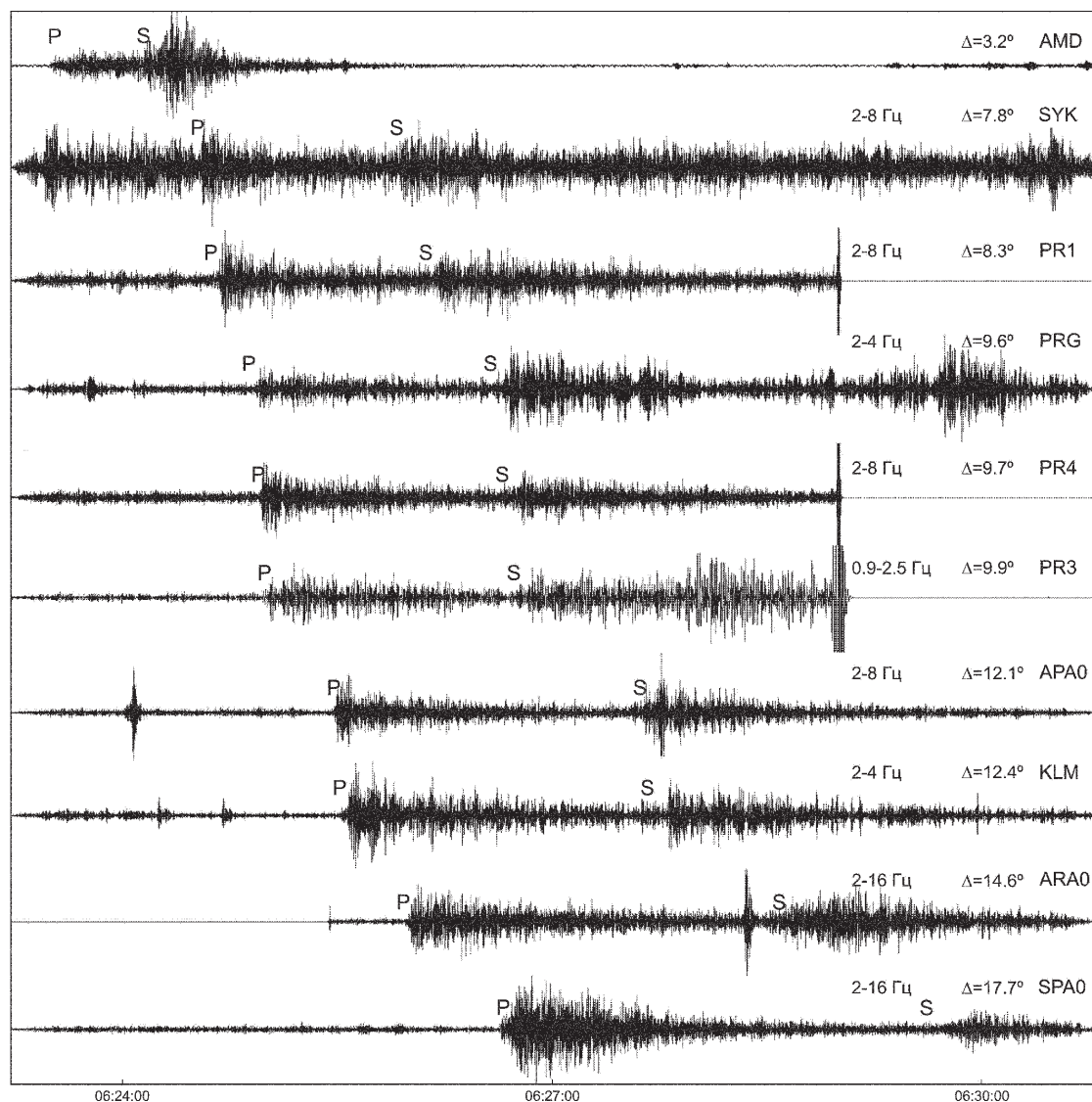


Рис. 3. Фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения 24 декабря 2012 г., расположенные по времени прихода первой фазы

Fig. 3. Fragments of records with vertical component of earthquake on December 24, 2012, located at the time of arrival of the first phase

Землетрясение 24 декабря 2012 г. произошло в 80 км южнее Воркутинского горно-промышленного узла, поэтому были проведены исследования с целью определения природы данного сейсмического события [6]. Для этого на записях сейсмической станции AMD использовалась совокупность критериев, разработанных в Кольском филиале ГС РАН (Апатиты) и программное обеспечение В. Э. Асминга [1, 5]. По результатам выполненного анализа, событие 24 декабря 2012 г. с большой долей вероятности является тектоническим и его следует рассматривать как природное.

Землетрясение 24 декабря произошло под северной частью Войкаро-Сынинского офиолитового аллохтона. Эпицентр расположен в зоне выхода на поверхность сутуры Главного Уральского надвига (рис. 1), сместитель которого полого наклонен на восток. Согласно сбалансированному геолого-геофизическому профилю «Полярно-уральский трансект» [15], очаг на глубине 11 км располагается в сместителе Фронтального надвига того же наклона, который выходит на поверхность в 30 км северо-западнее (рис. 4).

28 января 2014 г. произошло землетрясение на Северном Урале. Событие зарегистрировано сейсмостанциями «Сыктывкар» (SYK) и «Грива» (GRV), а также станциями сейсмической сети Урала — SVUR (Североуральск), PR7R (Сараны), PR1 (Романово), PR3 (Кунгур), Архангельской сети — LSK (Лешуконское), AMD (Амдерма) и станцией «Арти» (ARU) (рис. 5). Записи данных станций были задействованы в обработке события. Эпицентрального расстояния до станций SYK и GRV — 475 км и 515 км соответственно.

Параметры землетрясения, полученные нами: $t_0=04^h41^m38^s$, координаты 62.361N, 59.539E, $h=5$ км, локальная магнитуда $ML=3.4$, энергетический класс Раутиан $Kp=9.9$. В табл. 2 приведены также решения события 28 января по данным определений Архангельской и Пермской сейсмологических сетей. Событие слабое, информации о нем на сайтах зарубежных служб нет.

По нашим расчетам, эпицентр располагался в 20 км севернее истоков р. Печоры, 47 км западнее пос. Усть-Манья. При личной беседе с инспекторами охраны Печоро-Илычского госзаповедника, кордонов Полой, Собинская,

Таблица 1

Параметры землетрясения 24 декабря 2012 г. по данным различных сейсмологических центров

Table 1

Parameters of earthquake on December, 24, 2012, from various seismic centers

Сеть Net	Время в очаге, t_0 Time in focus, t_0	φ , °N	λ , °E	Магнитуда Magnitude	h, км km
ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар Institute of geology, Komi SC, UB RAS, Syktyvkar	06:22:39	66.768	64.360	M_s 3.7	11
OBN (ГС РАН, Обнинск) [4] (GS RAS, Obninsk)	06:22:34.2	66.68	64.21	M_L 3.4	
ГС РАН, Архангельск [6] GS RAS, Archangelsk	06:22:39.1	66.47	64.73	M_L 3.8	10
ISC (Англия, England) http://www.isc.ac.uk	06:22:40.88	66.6245	63.7543	m_b 4.0 M_s 3.1	35f*
IDC (Австрия, Austria) http://www.isc.ac.uk	06:22:36.80	66.8133	64.4027	M_L 3.9 m_b 3.8/16 M_s 3.2	0f
NNC (Казахстан, Kazakhstan) http://www.isc.ac.uk	06:22:49.02	66.1763	64.2736	m_b 4.0	60.2
IRIS (США, USA) http://ds.iris.edu USGS (США, USA) http://www.orfeus-eu.org NEIC (США, USA) http://www.isc.ac.uk	06:22:36	66.88	64.29	m_b 4.1	10f
EMSC (Франция, France) http://www.orfeus-eu.org	06:22:34	66.94	64.50	m_b 3.9	2.0
NORSAR (Норвегия, Norway) http://www.norsardata.no	06:22:39.15	66.938	63.952	m_b 4.47	

* f — фиксированная глубина.

f — fixed depth.



ГЗУН- Главный Западноуральский надвиг, ФН- Фронтальный надвиг, ГУН- Главный Уральский надвиг (PZ3 сутура)

Рис. 4. Фрагмент геолого-геофизического профиля по [15] с вынесенным эпицентром и гипоцентром сейсмического события 24 декабря 2012 г. (составили В. В. Юдин, Д. Н. Ремизов, 2014 г.)

Fig. 4. Fragment of geological-geophysical profile by [15] with rendered epicenter and hypocenter of seismic event on December 24, 2012 (compilers V. V. Yudin, D. N. Remizov, 2014)

Шайтановка и Шежым (Печорский), которые в это время находились на кордонах, выяснилось, что событие не ощущалось.

В тектоническом отношении эпицентр землетрясения 28 января 2014 г. был расположен в западной части

Присалатимского аллохтона, ограниченного Фронтальным надвигом восточного наклона (рис. 1). Характер деформационных структур в батинальном комплексе Присалатимского аллохтона определяется наличием сжатых асимметричных многопорядковых складок с восточным

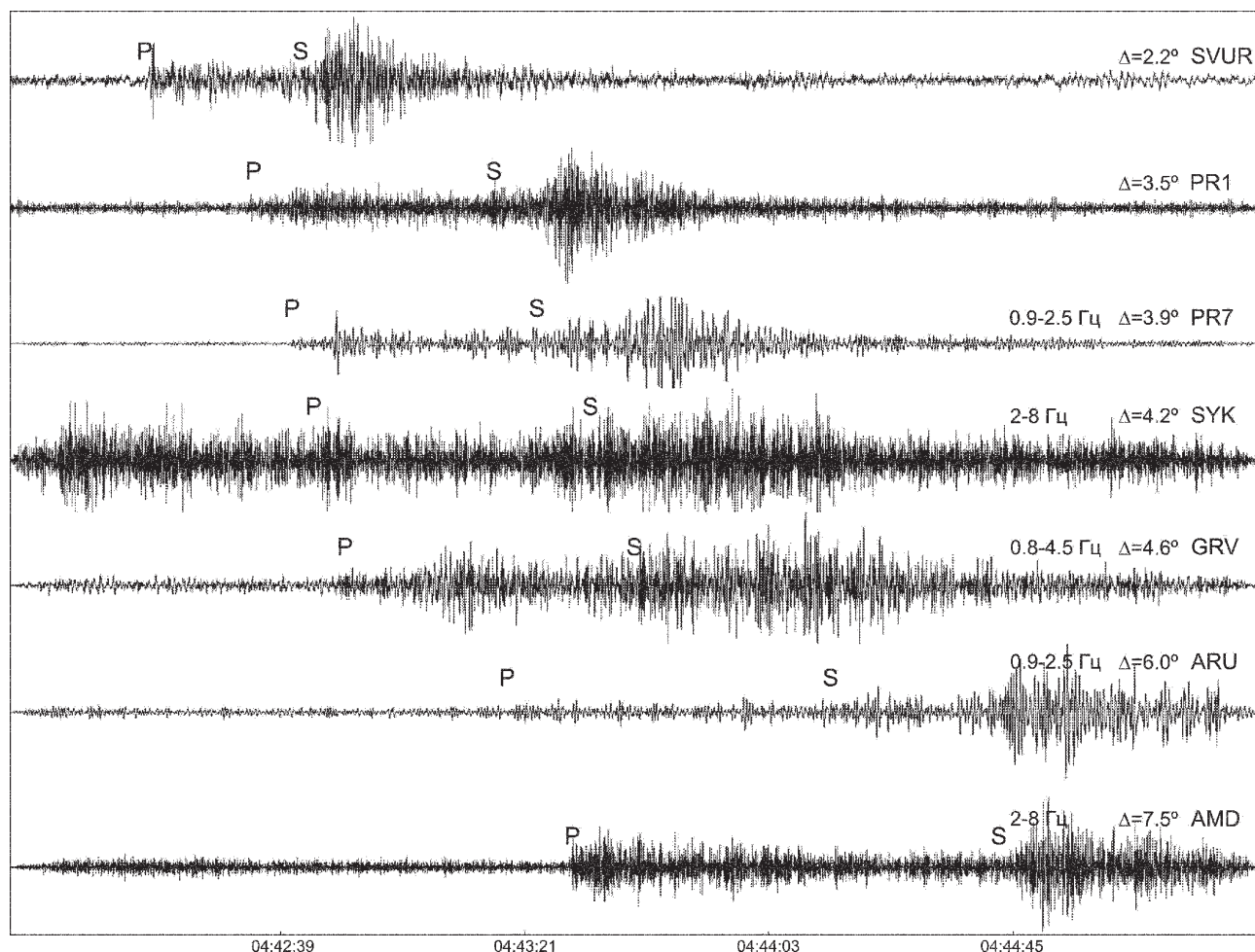


Рис. 5. Фрагменты сейсмограмм вертикальной компоненты землетрясения 28 января 2014 г., расположенные по времени прихода первой фазы

Fig. 5. Fragments of records with vertical component of earthquake on January 28, 2014, located at the time of arrival of the first phase

Таблица 2

Параметры землетрясения 28 января 2014 г. по данным различных сейсмологических центров

Table 2

Parameters of earthquake on January, 28, 2014, from various seismic centers

Сеть Net	Время в очаге, t_0 Time in focus, t_0	φ , °N	λ , °E	M	h, km
ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар Institute of geology, Komi SC, UB RAS Syktyvkar	04:41:38	62.361	59.539	ML 3.4 Kp 9.9	5
ГС РАН, Архангельск [12] GS RAS, Archangelsk	04:41:43	62.32	59.08	ML 3.1	5f
ГС РАН, Пермь http://pts.mi-perm.ru GS RAS, Perm	04:41:43	62.19	59.53	ML 3.1	10f

падением осевых поверхностей и большого количества субпараллельных им взбросо-надвиговых сместителей. Очаг землетрясения находился на глубине 5 км. О его структурном положении можно судить по геологическому разрезу на рис. 35 в монографии [14]. Анализ структур показывает, что гипоцентр, по-видимому, связан с унаследованной подвижкой по древнему Осевому надвигу, который выходит на поверхность в 20 км западнее эпицентра.

4 января 2015 г. сейсмическими станциями в с. Пожег (PZG) и с. Грива (GRV) было зарегистрировано (рис. 6) сейсмическое событие на Приполярном Урале. Удаленность от эпицентра до станций составляет 430 км и 675 км соответственно. Землетрясение зафиксировали практически все сейсмические станции России (от близко расположенных до Чукотки (BILL) $\Delta=37.88^\circ$ и Приморского края (USRK) $\Delta=43.57^\circ$, а также зарубежные сейсмические сети Нигерии, Таиланда, Кореи, Канады, Америки и многих других стран (табл. 3).

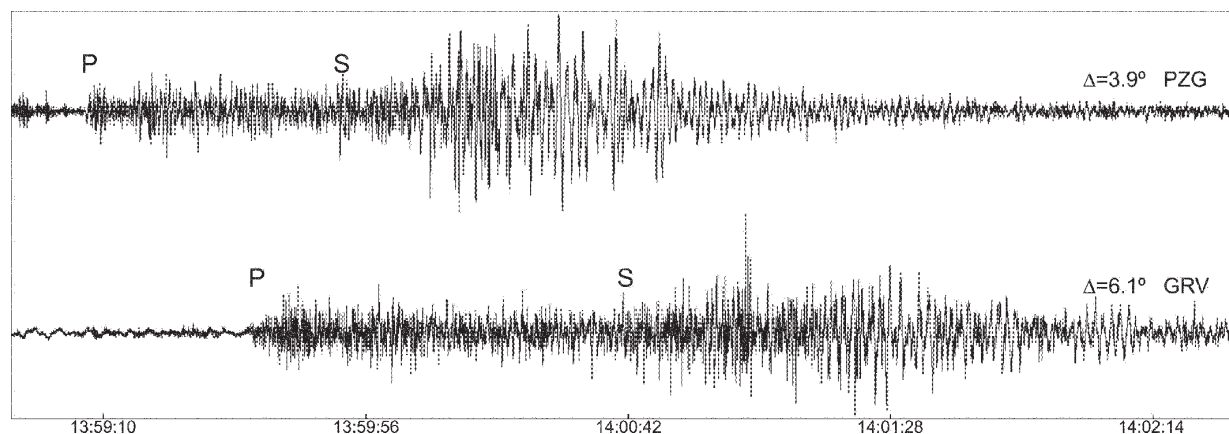


Рис. 6. Фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения 4 января 2015 г. сейсмическими станциями Пожег (PZG) и Грива (GRV)

Fig. 6. Fragments of records with vertical component of earthquake on January 4, 2015, from seismic stations Pozheg (PZG) and Griva (GRV)

Таблица 3

Параметры землетрясения 4 января 2015 г. по данным различных сейсмологических центров

Table 3

Parameters of earthquake on January, 4, 2015, from various seismic centers

Сеть Net	Время в очаге, t_0 Time in focus, t_0	φ , °N	λ , °E	M	h, km
ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар Institute of geology, Komi SC, UB RAS, Syktyvkar	13:58:06	64.552	60.720	ML 4.8 Kp 12.3	14
ССД (ГС РАН, Обнинск) http://www.ceme.gsras.ru (GS RAS, Obninsk)	13:58:03	64.36	60.44	mb 4.2/13	10
ГС РАН, Архангельск http://www.iepn.ru GS RAS, Archangelsk	13:58:05	64.49	60.49	ML 4.8	10f
IRIS (США, USA) http://ds.iris.edu	13:58:05	64.4	60.51	4.4	14.9
EMSC (Франция, France) http://www.orfeus-eu.org	13:58:04	64.44	60.64	mb 4.4	10
USGS (США, USA) http://www.orfeus-eu.org	13:58:05	64.41	60.53	mb 4.4	13.6
NEIC (США) http://www.isc.ac.uk	13:58:05	64.4010	60.51	4.4	14
IDC (Австрия, Austria) http://www.isc.ac.uk	13:58:03.96	64.5056	60.7029	mb 3.8	0.0f
NNC (Казахстан, Kazakhstan) http://www.isc.ac.uk	13:58:14.29	63.9289	60.7927	mb 3.9	37
GFZ (Германия, Germany) http://www.orfeus-eu.org	13:58:05.10	64.65	61.20	mb 4.5	10
NORSAR (Норвегия, Norway) http://www.norsardata.no	13:58:10.93	64.998	59.023	4.81	

Обобщение имеющихся данных по этому событию выполнено в Международном сейсмологическом центре [25]. Согласно бюллетеню ISC, параметры землетрясения определены в пяти сейсмологических центрах, а общее число записавших его станций составило 66, на расстояниях $D_{min}=8.01^\circ$, $D_{max}=73.62^\circ$ и практически полным азимутальным окружением $5.2-354.5^\circ$, $\Delta\varphi=38^\circ$. Число используемых фаз — 174.

Анализ координат, полученных разными службами (за исключением автоматической обработки NORSAR и NNC), показывает достаточно хорошую согласованность в локации. Эпицентр землетрясения расположен на водоразделе рек Манья и Народа, в 35 км север-северо-западнее от пос. Саранпауль.

Расчет параметров и локация события выполнялись по записям 15 сейсмических станций: Пожег (PZG), Грива (GRV),



ва (GRV), Североуральск (SVUR), Амдерма (AMD), Сараны (PR7), Лешуконское (LSK), Верхнечусовские городки (PR0), Кунгур (PR3), Свердловск (SVE), Арти (ARU), Уфа (BA1R), Климовская (KLM), Соловки (SLV), Земля Франца-Иосифа (ZFI), а также финской станции Сумийнен (SUF). Станции удалены на расстояния от 3.9 до 16.7° в азимутальном створе 180.4—352.7°.

Параметры землетрясения, полученные нами: $t_0 = 13^h 58^m 06^s$, координаты 64.552N, 60.720E, ML=4.8, Kp=12.3, h=14 км. Результаты обработки различными сейсмологическими центрами также приведены в табл. 3. На записях события станций PZG и GRV присутствуют объемные волны Pn, Pg, Sn, Sg, а также ярко выраженные поверхностные (рис. 6).

Эпицентр землетрясения 4 января 2015 г. на Приполярном Урале был расположен в присутурной зоне Главного Уральского надвига, имеющего восточное падение (рис. 1). Учитывая 14-километровую глубину положения гипоцентра под ним, фокус землетрясения может быть связан с унаследованным смещением во Фронтальном надвиге, который выходит на поверхность в 20 км западнее, или с опережающими разрывами Осевого надвига, выходящего еще западнее (рис. 1).

21 марта 2015 г. произошло землетрясение в бассейне р. Илыч, на западе Северного Урала (рис. 1), в Троицко-Печорском районе Республики Коми. Событие зарегистрировали станции ГС РАН соседних регионов — Архангельской, Свердловской областей и Пермского края (табл. 4). Записи этих сейсмологических центров, а также финских станций Оулу (OUL) и Йоэнсуу (JOF) и были задействованы в обработке.

Локации и расчет параметров сейсмического события проводились по сейсмограммам 10 станций: Пожар (PZG), Североуральск (SVUR), Грива (GRV), Сараны (PR7), Власы (PR4), Кунгур (PR3), Лешуконское (LSK), Амдерма (AMD), Оулу (OUL) и Йоэнсуу (JOF) (рис. 7), с эпицентрными расстояниями 220—1580 км в азимутальном створе 9.9—295.1°. Станция PZG была ближайшей к эпицентру события ($\Delta = 2^\circ$). Параметры землетрясения, рассчитанные в WSG: $t_0 = 14^h 14^m 19^s$, 62.926N, 58.221E, ML=3.1, Kp=9.4, h=12 км. В табл. 4 также приведены основные параметры землетрясения 28 января по данным определений Архангельской и Пермской сейсмологических сетей.

Нами были разосланы анкеты в Троицко-Печорский район для получения макросейсмических сведений. Оп-

рос местного населения в ближайших к эпицентру землетрясения населенных пунктах результатов не дал.

Эпицентр землетрясения 21 марта 2015 г. располагался в 75 км южнее истоков р. Илыч. Тектонически эпицентр находился в Западной структурной зоне Урала (рис. 1). Исходя из ранее построенных геологических разрезов и тектонических карт [14], мы делаем вывод, что гипоцентр на глубине 12 км приурочен к зоне Главного Западноуральского надвига. Он имеет восточное падение сместителя и выходит на поверхность в 30 км западнее от эпицентра (рис. 1).

Обсуждение результатов

В геолого-тектоническом отношении эпицентры землетрясений расположены у главных региональных или опережающих их надвигов. Гипоцентры могут быть связаны с унаследованными смещениями во Фронтальном, Осевом и Главном Западноуральском надвигах структурного комплекса уралид.

Современный Уральский ороген является в значительной мере неотектонической структурой неоуралид [14]. Анализ характера дизъюнктивных дислокаций территории подтверждает вывод о главенствующей роли горизонтальных перемещений коры в формировании современной структуры. Поэтому фиксируемые сейсмические события на Урале, возможно, обусловлены современной активизацией покровно-складчатой структуры Урала.

Наблюдения на станциях спутниковой геодезической сети (GPS) показывают, что горизонтальные перемещения Урала происходят и в настоящее время. Измерения горизонтальных движений на севере Урала указывают на то, что смещение происходит в основном на восток с небольшим отклонением по сдвиговой компоненте на север или юг [11]. Зафиксированный палеомагнитными методами и начавшийся в девоне поворот Урала (по часовой стрелке), судя по ориентировке азимутов максимальных напряжений верхней части земной коры Урала, продолжается и в настоящее время [2, 8].

На Северном — Полярном Урале ведущую роль занимают покровно-надвиговые структуры уралид, по поверхности которых, вероятно, и происходит разрядка современных напряжений. Северная часть Урала деформировалась не в едином региональном тектоническом поле напряжений. По данным Л. А. Сим, субгоризонтальная ось сжатия меняет свое простирание от широтного на Северном через северо-западное на Приполяр-

Таблица 4
Параметры землетрясения 21 марта 2015 г. по данным различных сейсмологических центров

Table 4
Parameters of earthquake on December, 24, 2012 from various seismic centers

	Время в очаге, t_0 Time in focus, t_0	φ , °N	λ , °E	ML	h, km
ИГ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар Institute of geology, Komi SC, UB RAS, Syktvykar	14:14:19	62.926	58.221	3.1 Kp 9.4	12
ГС РАН, Архангельск http://www.iepn.ru GS RAS, Archangelsk	14:14:22	63.03	58.15	3.3	10f
ГС РАН, Пермь http://pts.mi-perm.ru GS RAS Perm	14:14:43	60.65	54.79	2.9	

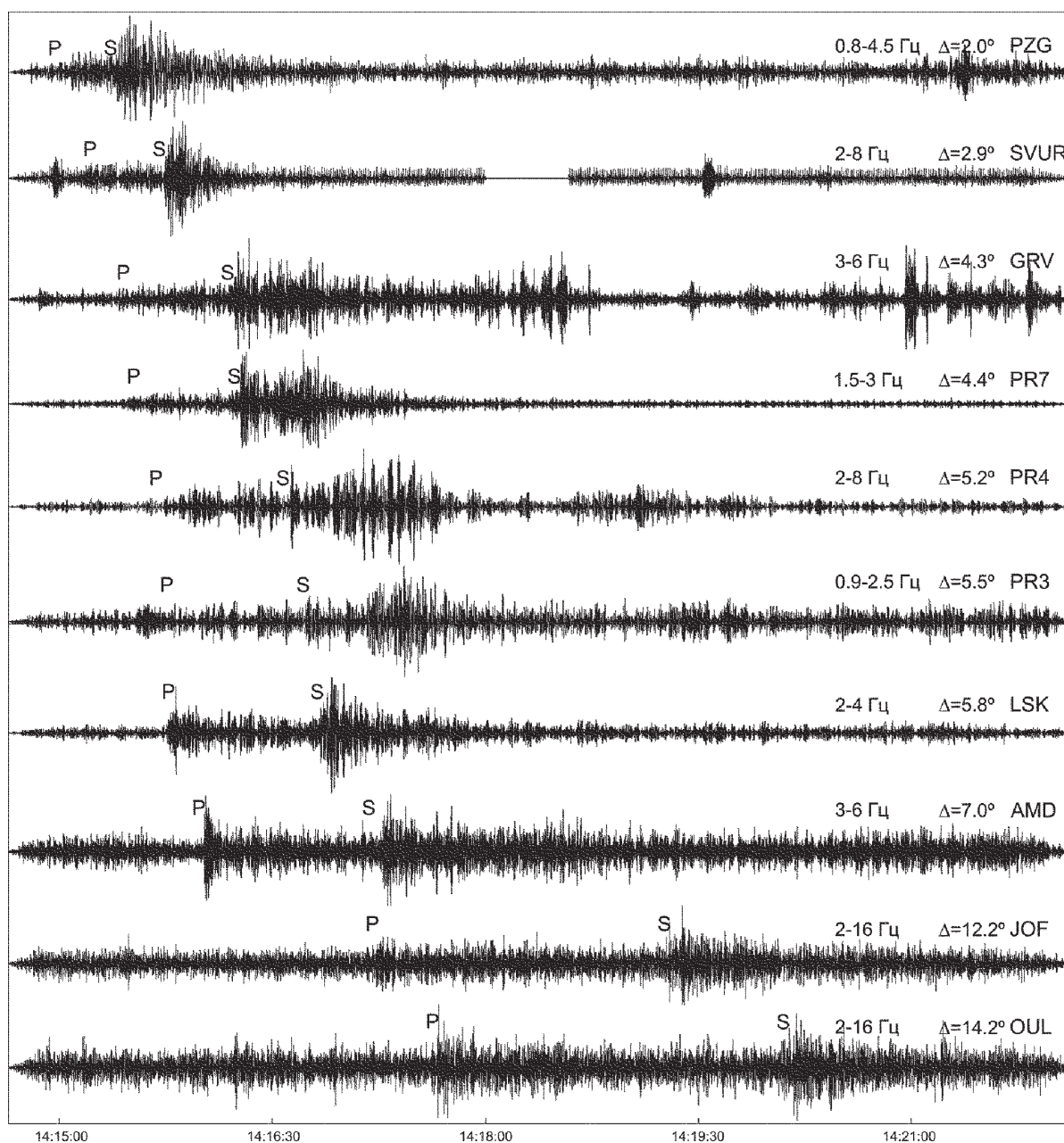


Рис. 7. Фрагменты записей вертикальной компоненты землетрясения 21 марта 2015 г., расположенные по времени прихода P-волны

Fig. 7. Fragments of records with vertical component of earthquake on March 21, 2015, located at the time of primary wave arrival

ном до субмеридионального на Полярном Урале [9]. Восстановленное новейшее поле напряжений носит унаследованный характер. Данными GPS-мониторинга также подтверждается гипотеза сжатия массивов Северного Урала [11].

Зарегистрированные инструментально землетрясения являются верхнекоровыми. Гипоцентры их находятся на глубинах 5—14 км, что может быть обусловлено смещением по ранее заложенным аллохтонным пластинам тектонических покровов Урала.

Выводы

В целом территория Полярного, Приполярного и Северного Урала характеризуется рассеянной сейсмичностью. Сейсмическая активность здесь низкая, что, веро-

ятно, объясняется малой скоростью деформации земной коры на современном этапе [3]. Фиксируемые слабые сейсмические события на Урале могут быть обусловлены горизонтальными напряжениями в древних покровно-складчатых структурах уралид. Современные землетрясения севера Урала, возможно, вызваны горизонтальными движениями по поверхностям надвигов, что соответствует глубинам гипоцентров 5—14 км.

Общеизвестно, что землетрясения являются одним из наиболее ярких проявлений современной тектонической активности. Сейсмологические наблюдения, проводимые на территории Республики Коми, имеют важное значение для изучения геодинамической активности региона и решения геоэкологических задач. Для сейсмологического мониторинга, надежной регистрации локальных и регио-



нальных сейсмических событий необходима модернизация и расширение сети сейсмостанций в Республике Коми. Это позволит более обоснованно подходить к решению сложных проблем, в том числе аварий в шахтах Воркутского угольного бассейна.

Автор глубоко признателен коллегам из ГС РАН Апатитов, Архангельска и Перми за предоставленные записи сейсмических событий.

Работа проводится в рамках программы фундаментальных научных исследований № 15-18-5-57 «Главный Уральский разлом и его обрамление как индикаторы многостадийной эволюции аккреционно-коллизонного Уральского орогена».

Литература

1. Асминг В. Э., Кременецкая Е. О., Виноградов Ю. А., Евтюгина З. А. Использование критериев идентификации взрывов и землетрясений для уточнения оценки сейсмической опасности региона / Кольский филиал Геофизической службы РАН // Вестник МГТУ. 2010. Т. 13. № 4/2. С. 998—1007.
2. Гатинский Ю. Г., Рундквист Д. В., Владова Г. Л., Прохорова Т. В. Анализ геодинамики и сейсмичности в районах расположения главнейших электростанций европейской части России и ближайшего зарубежья: Электронное научное издание // Пространство и Время: Альманах. 2011. № 4 (6). С. 196—204.
3. Гуляев А. Н. Сейсмоструктура центральной части Уральского региона // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: Шестые научные чтения памяти Ю. П. Булашевича: Материалы конференции. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 99—102.
4. Землетрясения России в 2012 году. Обнинск: ГС РАН, 2014. 224 с.
5. Кольский филиал Геофизической службы РАН. URL: <http://www.krsc.ru/defds.htm>
6. Конечная Я. В., Ваганова Н. В., Морозов А. Н., Носкова Н. Н. Землетрясение на Полярном Урале 24 декабря 2012 года // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2013. С. 179—183.
7. Санина И. А., Куликов В. И., Нестеркина М. А., Константиновская Н. Л., Волосов С. Г. Региональные сейсмические наблюдения взрывов и землетрясений // Взрывы и землетрясения на территории европейской части России / Под ред. В. В. Адушкина и А. А. Маловичко. М.: ГЕОС, 2013.
8. Свяжина И. А., Петров Г. А., Рыбалка А. В. Возможная связь современных и древних горизонтальных движений литосферных блоков Урала // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых: Материалы XXXVII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2005. Том 2. С. 187—190.
9. Сим Л. А. Разноранговые тектонические напряжения Северного — Полярного Урала // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы: Сборник материалов Четвертого Междунар. симп. 15—20 июня 2008. Вып. 4. М.; Бишкек: Научная станция РАН. 2009. С. 401—405.
10. Структурно-тектоническая карта Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Масштаб 1:1000000 / Редкол.: В. И. Богацкий, А. С. Головань, В. И. Громека, В. В. Юдин (ответственный исполнитель) и др. М.: Мингео СССР, 1988.
11. Уткин В. И., Белоусова А. А., Тягунов Д. С., Баландин Д. В. Исследование геодинамики Северного и Среднего Урала по данным GPS // Доклады Академии наук. 2010. Т. 431. № 2. С. 246—251.
12. Французова В. И., Конечная Я. В., Ваганова Н. В., Морозов А. Н. Сейсмичность Евроарктического региона в 2014 г. по данным Архангельской сейсмической сети // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Десятой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 339—343.
13. Юдахин Ф. Н., Шукин Ю. К., Макаров В. Н. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003.
14. Юдин В. В. Орогенез Севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. 284 с.
15. Юдин В. В., Ремизов Д. Н. Сбалансированная геодинамическая модель по профилю «Полярноуральский трансект» // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2014. Т. II. С. 77—79.
16. Bogdanova S. Eurobridge: Palaeoproterozoic Accretion of Sarmatia and Fennoscandia // EUROPROBE News. 2000. №13. p. 79.
17. EUROBRIDGE Seismic Working Group (co-authors: Timo Tiira, Urmas Luosto, Kari Komminaho), 1999. Seismic velocity structure across the Fennoscandia-Sarmatia suture beneath the EUROBRIDGE profile through Lithuania and Belarus. *Tectonophysics*, 314, 193—217.
18. Grad M., Tripolsky A. A. Crustal structure from P and S seismic waves and petrological models of the Ukrainian shield // *Tectonophysics*. 1995. 250. P. 89—112.
19. Kostyuchenko S. L., Egorkin A. V., Solodilov L. N. Structure and genetic mechanisms of the Precambrian rifts of the East-European Platform in Russia by integrated study of seismic, gravity, and magnetic data, *Tectonophysics*, 313, 9—28, 1999.
20. Mooney W. D., Laske G., Masters T. G. CRUST 5.1: A global crustal model at 5°x5°, *J. Geophys. Res.*, 103, (B), 727—747, 1998.
21. Persits F. M., Ulmishek G. F. & Steinshouer D. W. 1997. Maps Showing Geology, Oil and Gas Fields and Geologic Provinces of the Former Soviet Union. U.S. Geological Survey Open-File Report 97-470E, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado. <http://pubs.usgs.gov/of/1997/ofr-97-470/OF97-470E/fsumapG.html>
22. Ryberg T., Wenzel F. 1999. High-frequency wave propagation in the uppermost mantle. *J. Geophys. Res.* 104, 10655—10666.
23. Schueller W., Morozov I. B., Smithson S. B. 1997. Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz, Bull. Seismol. Soc. Am. 87: 414—426.
24. Sroda P. and POLONAISE Working Group, 1999. P- and S-wave velocity model of the southwestern margin of the Precambrian East European Craton; POLONAISE'97, profile P3. *Tectonophysics*, 314 (1999), 175—192.
25. International Seismological Centre. <http://www.isc.ac.uk/>

References

1. Asming V. E., Kremenetskaya E. O., Vinogradov Yu. A., Evtyugina Z. A. *Ispolzovanie kriteriev identifikatsii vzryvov i zemletryasenii dlya utochneniya otsenki seismicheskoi opasnosti regiona* (Use of identification criteria of explosions and earthquakes to specify the estimates of seismic danger of region). *Vestnik MGTU*, V. 13, No. 4/2, 2010, pp. 998—1007.
2. Gatinsky Yu. G., Rundkvist D. V., Vladova G. L., Prohorova T. V. *Analiz geodinamiki i seismichnosti v raionah raspolozheniya glavneishih elektrostantsii evropeiskoi chasti Rossii i blizhaishego zarubezhya* (Analysis of geodynamics and seismicity in areas with main power stations or European part of Russia and nearest countries). *Almanah Prostranstvo i Vremya*. No.4 (6), 2011, pp. 196—204.
3. Gulyaev A. N. *Seismotektonika tsentralnoi chasti Uralskogo regiona* (Seismic tectonics of central part of Ural region). In: *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh polei* (Deep structure, geodynamics, thermal field of Earth, interpretation of geophysical fields). 6th science readings dedicated to Yu. P. Bulashevich. Proceedings. Ekaterinburg, UBO RAN, 2011, pp. 99—102.
4. Earthquakes in Russia. Obninsk: GS RAS, 2014, 224 pp.
5. *Kolskii filial Geofizicheskoi sluzhby RAN* (Kola branch of geophysical survey of RAS). Access: <http://www.krsc.ru/defds.htm>
6. Konechnaya Ya. V., Vaganova N. V., Morozov A. N., Noskova N. N. *Zemletryasenie na Polyarnom Urale 24 dekabrya 2012 goda* (Earthquake in Polar Urals 24 December 2012). In: *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh* (Modern methods of processing and interpretation of seismic data). Proceedings of the 8th International seismic school. Obninsk, GS RAN, 2013, pp. 179—183.
7. Sanina I. A., Kulikov V. I., Nesterkina M. A., Konstantinovskaya N. L., Volosov S. G. *Regionalnye seismicheskie nablyudeniya vzryvov i zemletryasenii* (Regional seismic observations of explosions and earthquakes). *Vzryvy i zemletryaseniya na territorii Evropeiskoi chasti Rossii* (Ed. V. V. Adushkin and A. A. Malovichko). Moscow, GEOS, 2013.
8. Svyazhina I. A., Petrov G. A., Rybalka A. V. *Vozmozhnaya svyaz sovremennykh i drevnikh gorizontalnykh dvizhenii litosfernykh blokov Uralskogo regiona* (Possible connection of modern and old horizontal movements of lithospheric blocks of the Urals). *Tektonika zemnoi kory i mantii*. (Tectonics of earth crust and mantle). *Tektonicheskie zakonomernosti razmesheniya poleznykh iskopaemykh*. Proceedings. Moscow, GEOS, 2005, V. 2, pp. 187—190.
9. Sim L. A. *Raznorangovyye tektonicheskie napryazheniya Severnogo-Polyarnogo Uralskogo regiona* (Various tectonic stresses of Northern—Polar Urals) In: *Geodinamika vnutrikontinentalnykh orogenov i geoekologicheskie problemy* (Geodynamics intracontinental orogens and geocological problems), No. 4. Proceedings. Bishkek, RAN, 2009, pp.401—405.
10. *Strukturno-tektonicheskaya karta Timano-Pechorskoi neftegazonosnoi provintsii* (Structural-tectonic map of Timan-Pechora oil-gas-bearing province). Scale 1:1000000. Eds: V. I. Bogatsky, A. S. Golovan, V. I. Gromeka, D. M. Danilevskaya, V. A. Dedeev, N. I. Lisin, V. B. Rostovschikov, A. K. Tshhmeistryuk, A. N. Shardanov, G. V. Chernyavskii, V. V. Yudin, B. A. Yaralov. Mingeo SSSR, Moscow, 1988.
11. Utkin V. I., Belousova A. A., Tyagunov D. S., Balandin D. V. *Issledovanie geodinamiki Severnogo i Srednego Uralskogo regiona po dannym GPS* (Study of geodynamics of Northern and Middle Urals according to GPS). *Doklady Akademii nauk*, 2010, V. 431, No.2, pp. 246—251.
12. Frantsuzova V. I., Konechnaya Ya. V., Vaganova N. V., Morozov A. N. *Seismichnost Evroarkticheskogo regiona v 2014 g. po dannym Arhangel'skoi seismicheskoi seti* (Seismicity of Euroarctic region in 2014 according to data of Archangel'sk seismic net). In: *Sovremennye metody obrabotki i interpretatsii seismologicheskikh dannykh* (Modern methods of processing and interpretation of seismic data). Proceedings of 10th international seismic school. Obninsk, GS RAN, 2015, pp. 339—343.
13. Yudahin F. N., Schukin Yu. K., Makarov V. N. *Glubinnoe stroenie i sovremennyye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vostochno-Evropeiskoi platformy* (Deep structure and modern geodynamic processes in lithosphere of East-European platform). Ekaterinburg, UB RAS, 2003.
14. Yudin V. V. *Orogeenez Severa Uralskogo regiona i Pay-Khoy* (Orogenesis of Northern Urals and Pay-Khoy). Ekaterinburg, Nauka, 1994, 284 pp.
15. Yudin V. V., Remizov D. N. *Sbalansirovannaya geodinamicheskaya model po profilu «Polyarnouralskii transekt»* (Balanced geodynamic model on profile Polar Ural transect). *Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii*. Proceedings. V.2, Syktyvkar, Institute of geology of Komi SC UB RAS, 2014, pp. 77—79.
16. Bogdanova S. Eurobridge: Palaeoproterozoic Accretion of Sarmatia and Fennoscandia. EUROPROBE News. 2000, No. 13, pp. 7—9.
17. EUROBRIDGE Seismic Working Group (co-authors: Timo Tiira, Urmas Luosto, Kari Komminaho), 1999. Seismic velocity structure across the Fennoscandia-Sarmatia suture beneath the EUROBRIDGE profile through Lithuania and Belarus. *Tectonophysics*, 314, pp. 193—217.
18. Grad M., Tripolsky A. A. Crustal structure from P and S seismic waves and petrological models of the Ukrainian shield. In: *Tectonophysics*. 1995, 250, pp. 89—112.
19. Kostyuchenko S. L., Egorkin A. V. and Solodilov L. N. Structure and genetic mechanisms of the Precambrian rifts of the East-European Platform in Russia by integrated study of seismic, gravity, and magnetic data. In: *Tectonophysics*, 313, 9—28, 1999.
20. Mooney W. D., Laske G. and Masters T. G. CRUST 5.1: A global crustal model at 5° S, 5° N, J. Geophys. Res., 103, (B), 727—747, 1998.
21. Persits F. M., Ulmishek G. F. & Steinshouer D. W. 1997. Maps Showing Geology, Oil and Gas Fields and Geological Provinces of the Former Soviet Union. U.S. Geological Survey Open-File Report 97-470E, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado. <http://pubs.usgs.gov/of/1997/of97-470/OF97-470E/fsumapG.html>
22. Ryberg T. and Wenzel F. 1999. High-frequency wave propagation in the uppermost mantle. *J. Geophys. Res.* 104, 10655—10666.
23. Schueller W., Morozov I. B. and Smithson S. B. 1997. Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 87, pp. 414—426.
24. Sroda P. and POLONAISE Working Group, 1999. P- and S-wave velocity model of the southwestern margin of the Precambrian East European Craton; POLONAISE'97, profile P3. *Tectonophysics*, 314 (1999), pp. 175—192.
25. International Seismological Centre. <http://www.isc.ac.uk/>



ПЕРВАЯ НАХОДКА БАНАЛЬСИТА-СТРОНАЛЬСИТА НА УРАЛЕ

Е. В. Медведева¹, А. Б. Немов¹, В. А. Котляров²

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

²Институт минералогии УрО РАН, Миасс

Впервые в щелочных породах Ильменогорского миаскитового массива (ИММ) при микрозондовом исследовании сандыитов обнаружены минералы группы банальсита-стрональсита $Ba_{1-x}Sr_xNa_2Al_4Si_4O_{16}$, являющиеся структурными аналогами полевых шпатов. Их образование свидетельствует о высокой мобильности Ba, Sr, Ca в щелочных средах при метасоматических процессах. Минералы расположены внутри индивидуальных нефелина из сандыитов и характеризуются промежуточными составами $Ba_{0.33-0.54}Sr_{0.33-0.49}$ с лисетитовым миналом $Ca_{0.05-0.06}$. Их образование в сандыитах Ильменогорского комплекса связано с поздними метасоматическими изменениями (альбитизация, цеолитизация и др.) щелочных пород ИММ.

Ключевые слова: банальсит, стрональсит, щелочные породы, Ильменогорский миаскитовый массив.

FIRST FIND OF BANALSITE-STRONALSITE IN URAL

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

¹Ilmeny State Reserve, Miass

²Institute of Mineralogy UB RAS, Miass

Minerals of the banalsite-stronalsite group $Ba_{1-x}Sr_xNa_2Al_4Si_4O_{16}$ — structural analog of the feldspar — were for the first time discovered in alkaline rocks of Ilmenogorsky miaskite massif (IMM) by microprobe study of sandyite. This discovery is important for evaluation of mobility of Ba, Sr, Ca in alkali metasomatic processes. Minerals are located inside individuals of nepheline from sandyites and they are characterized by intermediate compositions $Ba_{0.33-0.54}Sr_{0.33-0.49}$ with lisetite mineral $Ca_{0.05-0.06}$. Their formation in sandyites of Ilmenogorsky complex is related to the late metasomatic modification (albitization, zeolitization and others) of IMM alkaline rocks.

Keywords: banalsite, stronalsite, alkaline rocks, Ilmenogorsky miaskite massif.

Введение

Банальсит $BaNa_2(Al_2Si_2O_8)_2$ и стрональсит $SrNa_2(Al_2Si_2O_8)_2$ — весьма редкие минералы, являющиеся структурными аналогами полевых шпатов ромбической сингонии. Впервые в мире минералы группы банальсита-стрональсита были обнаружены в Уэльсе (Англия, 1944 г.), в прожилках среди марганцевых руд, а в России — в Южной Сибири — Жидойском массиве (Шарыжалгайский выступ), в прожилках среди апатит-титаномагнетитовых пироксенитов [3]. Позже минералы этой группы были обнаружены среди разнотипных и разновозрастных пород щелочных провинций России (Кольский п-ов, Сибирь) и мира (Ю. Африка, Канада, Швеция) [6]. Изменение состава от банальсита к стрональситу обусловлено изоморфизмом $Ba \leftrightarrow Sr$, возможно также замещение $Ba, Sr \leftrightarrow Ca$ и не исключено наличие примесей Mg, Fe и K [7]. Впервые минералы этой группы в Ильменогорском комплексе установлены нами в меланократовой разновидности нефелиновых сиенитов (миаскитов) Ильменогорского массива.

Методы исследования

Химический состав пород был определен с использованием титриметрического, фотоколориметрического и атомно-абсорбционного методов (аналитики Л. Б. Лапшина, Н. В. Шаршуева). Текстурно-структурные особенности пород были изучены на микроскопе Olympus BX 51. Химический анализ минералов выполнен на растровом электронном микроскопе РЭММА-202 М с энергодиспер-

сионной приставкой LZ Link Systems с Si-Li-детектором (ИМин УрО РАН, аналитик В. А. Котляров). Для измерений использованы стандартные образцы Astimex scientific limited MINM 25—53 Mineral Mount Serial №: 01—44. Условия измерений: разрешение детектора 160 эВ, ускоряющее напряжение 20—30 кВ, сила тока 3×10^{-3} А, диаметр электронного пучка 1—2 мкм. Коррекция данных производилась с использованием программы Magellanes.

Геологическое положение

Ильменогорский миаскитовый массив (ИММ) входит в состав магмато-метаморфогенного комплекса, расположенного в южной части Вишнево-Ильменогорского полиметаморфического комплекса (рис. 1), где широко распространены продукты динамотермального метаморфизма, образованные в результате хрупко-пластичных деформаций в условиях амфиболитовой фации метаморфизма (270—240 млн лет) [13]. ИММ имеет каплевидную форму, вытянут в СЗ-направлении (рис. 2), восточный и южный контакты массива пологие — 30—40°, а северный и западный имеют крутое падение — 60—80°. Западный контакт осложнен мелкой складчатостью течения, затухающей вглубь массива [2].

Среди разновидностей миаскитов, слагающих массив, широко распространены биотитовые разновидности и в меньшей мере биотит-амфиболовые и амфиболовые. Переходы между породами постепенные. Биотитовые и биотит-амфиболовые безнефелиновые сиениты обрамляют миас-

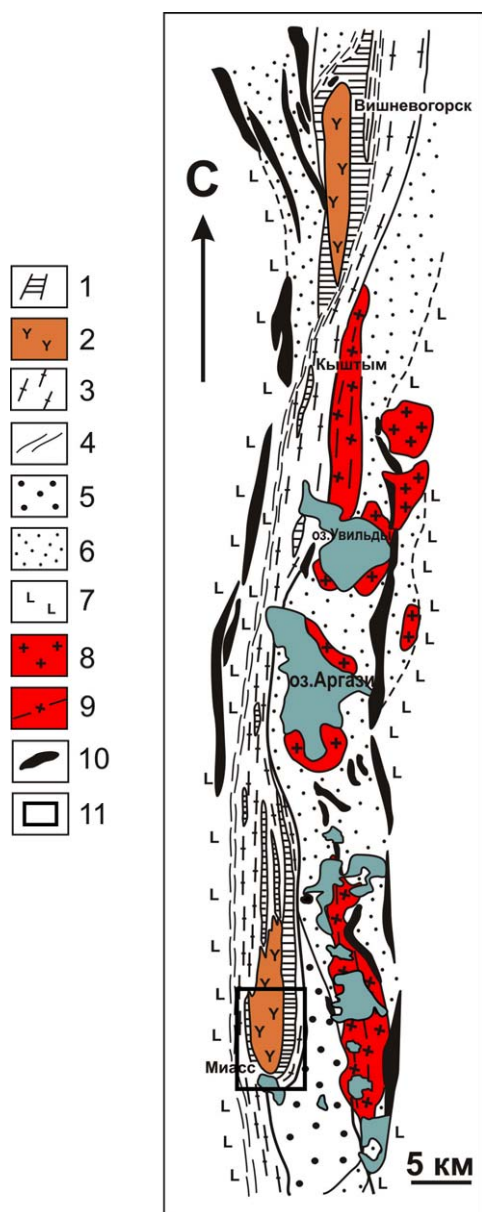


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Ильмено-Вишневогорской сдвиговой зоны [12]: 1 — селянкинская серия амфибол-гнейсово-плагиомигматитовая (Ar—Pt₁); 2 — массивы миаскитов (O₂); 3 — blastomylonites гранитоидного и сиенитового состава (P₂—T₁(?)); 4 — мylonиты Кыштымского сдвига-надвига; 5 — еланчиковская толща плагиосланцев и мигматитов инъекционного типа; 6 — сайтовская серия, метатерригенная; 7 — зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 8 — Увильдинский монзонит-гранитный комплекс (Pz₃); 9 — гнейсовидные граниты кисегачского комплекса; 10 — метагипербазиты; 11 — Ильменогорский миаскитовый массив

Fig. 1. Schematic geological maps of the Ilmeny-Vishnevogorsky shear zone [12]: 1 — Selyankino Group: Archean to Early Proterozoic amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks; 2 — Middle Ordovician miaskite massifs; 3 — Middle Permian-Lower Triassic (?) granitic and syenitic blastomylonites; 4 — mylonites of Kyshtym shear-thrust; 5 — Elanchik Sequence: plagioshales and injection migmatites; 6 — Saitovo Sequence: metaterrogenous rocks; 7 — greenschist volcanosedimentary complexes of West Magnitogorsk and Aramil-Sukhteli zones; 8 — Upper Precambrian Uvildy monzogranitic complex; 9 — gneissic granites Kisegach complex; 10 — metagabbro; 11 — Ilmenogorsky miaskite massif

китовое тело в северной части и на его южной границе. Все породы массива подвержены милонитизации [1, 4, 9]. Датировки, полученные по цирконам (SHRIMP) из миаскитов ИММ, отражают два этапа: 1) 440—480 млн лет — время образования и кристаллизации нефелин-сиенитового расплава (S₁—O₁); 2) 240—270 млн лет — время преобразования нефелиновых сиенитов при активизации сдвига (P₁₋₂—T₂) [5].

Сандыиты в миаскитовом массиве образуют линейно-линзовидные тела (0.1—0.5 × 0.5—10 м) со сложной морфологией, которые часто имеют зональное строение (от центра к краю): сандыиты ↔ гранат-амфиболовые миаскиты ↔ вмещающие амфиболовые миаскиты. Максимальное количество тел сандыитов отмечено в зонах развития амфиболовых миаскитов вблизи западного контакта массива.

Объект исследования

Сандыит — меланократовая разновидность нефелинового сиенита (миаскита), впервые выделенная и описанная А. Н. Заварицким (1939 г.) для щелочных пород ИММ. По химическому составу (мас. %: SiO₂ — 43.90, TiO₂ — 3.18, Al₂O₃ — 17.46, Fe₂O₃ — 5.43, FeO — 4.07, MnO — 0.73, MgO — 2.35, CaO — 9.30, Na₂O — 7.28, K₂O — 3.68, H₂O — 0.08, P₂O₅ — 0.63, CO₂ — 0.93, п.п.п. — 1.2, Σ 100.22) порода соответствует группе щелочных пород основного состава — ийолит-уртит-малинит [11]. Минеральный со-

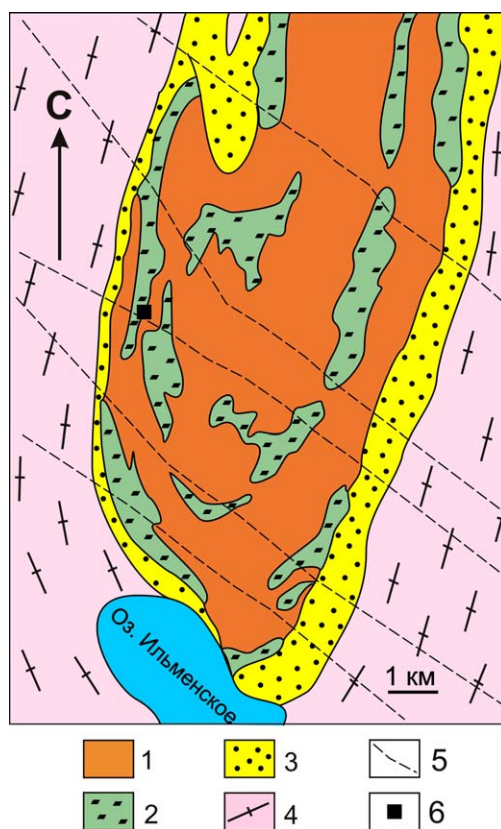


Рис. 2. Схематическая карта Ильменогорского миаскитового массива [6]: 1 — биотитовые миаскиты; 2 — амфиболовые миаскиты; 3 — фениты; 4 — амфибол-гнейсово-плагиомигматитовые породы селянкинской серии; 5 — разломы; 6 — место отбора образцов

Fig. 2. Schematic geological maps of the Ilmenogorsky miaskite massif [6]: 1 — biotite miaskites; 2 — amphibole miaskite; 3 — fenite; 4 — amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks of Selyankino Group; 5 — late faults; 6 — sampling place

став: эгирин-авгит ($f = 72-76$) 25–35 %, ферритарамит ($f = 73-75$) 20–25 %, ортоклаз 20–30 %, альбит (An 2–5) 10–13 %, нефелин до 5 %, акцессорные минералы (до 2 %) — титанит, апатит, кальцит, циркон, алланит, ильменит. Структура породы среднезернистая, под микроскопом нематогранобластовая, иногда порфировидная. Текстура пятнисто-полосчатая (рис. 3).

Среди крупных индивидов полевых шпатов и нефелина располагаются идиоморфные зерна тарамита и эгирин-авгита, хорошо заметны конвертообразные и изометричные зерна титанита, реже встречается циркон и апатит. Часто темноцветные минералы (тарамит и эгирин-авгит) образуют симплектитоподобную структуру с полевыми шпатами (рис. 4), реже их индивиды корродированы и содержат микровключения полевых шпатов.

Характеристика минералов группы банальсита-стрональсита

Минералы группы банальсита-стрональсита из разнотипных щелочных провинций мира образуют крупные (до 200 мк) гомогенные зерна в ассоциации с нефелином. Реже образуют соосные микровключения в нефелине, напоминающие микропертиты (луявриты Пилансберг, ийолиты Турьего Мыса) [14]. Хорошо образованные кристаллы не обнаружены. Близкие с нефелином оптические характеристики и небольшой размер индивидов затрудняют получение оптических данных.

В ИММ эти минералы установлены в индивидах нефелина, где образуют выделения (~ 50–150 мк) изометричной формы (рис. 5), расположенные в краевой части зерен или приуроченные к микротрещинам внутри них. Их состав характеризуется промежуточным положением в ряду конечных минеральных видов (рис. 6, см. таблицу, ан. 1–4). Иногда фиксируется неоднородный состав в пределах одного индивида (рис. 5): центр $Ba_{0.49}Sr_{0.34} \leftrightarrow$ край $Ba_{0.33}Sr_{0.49}$, в краевой части изменяясь до минерального вида - стрональсита. Для состава этих минералов в ИММ характерно присутствие примесей: постоянное содержание кальция (до 0.5 мас. %, до 0.06 ф.к.), отражающее лисетитовый минал - $CaNa_2[Al_2Si_2O_8]_2$, и калия (до 0.48 мас. %, до 0.06 ф.к.), связанного с изоморфизмом $K \leftrightarrow Na$, а также следовые содержания железа (до 0.28 мас. %).

Обсуждение результатов и выводы

Минералы группы банальсита-стрональсита присутствуют в двух типах щелочных комплексов: щелочно-ультраосновных с карбонатитами (массивы Жидойский, Южная Сибирь; Турий Мыс, Кольский п-ов) и нефелиновых сиенитах (массивы Сахариокский и Гремяха-Вырмесский, Кольский п-ов; Пилансберг, Южная Африка; ИММ, Южный Урал).

В случаях преобразования первичных минеральных ассоциаций с нефелином карбонатитовыми флюидами или при автотермических процессах появляются полные серии, включающие конечные минеральные виды, например $Ba_{0.98}Sr_{0.01} - Ba_{0.06}Sr_{0.88}Ca_{0.04}$ (Турий Мыс) или $Ba_{0.98}Sr_{0.04} - Ba_{0.02}Sr_{0.88}$ (Пилансберг). В отдельных случаях описано образование банальсита во внешних зонах нефелина на стадии субсолидусного замещения. При преобразовании первичных минеральных ассоциаций с нефелином более поздними метасоматическими процессами, в том числе альбитизации, цеолитизации или перекристаллизации калиевых полевых шпатов, появляются минералы с граничными составами или стрональсит с незначительным количеством



Рис. 3. Сандыит юго-западной части Ильменогорского миаскитового массива

Fig. 3. Sandyite from the South-Western part of Ilmenogorsky miaskite massif

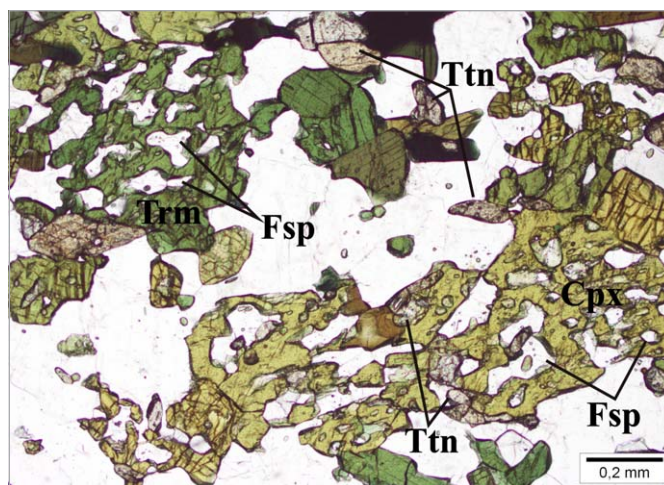


Рис. 4. «Симплектитоподобная» микроструктура пироксена и амфибола в сандыитах Ильменогорского миаскитового массива (без анализатора)

Fig. 4. Symplectite-like microtexture of clinopyroxene and amphibole grains from the sandstones of Ilmenogorsky miaskite massif (without analyzer)

лисетитового минала (см. таблицу, рис. 6): Жидойский массив — от $Ba_{0.57}Sr_{0.41}Ca_{0.02}$ до $Ba_{0.2}Sr_{0.70}Ca_{0.03}$, Сахариокский — $Ba_{0.35-0.09}Sr_{0.60-0.73}Ca_{0.06-0.05}$, Гремяха-Вырмес — $Ba_{0.68}Sr_{0.20}$ и $Ba_{0.05}Sr_{0.77}Ca_{0.15}$.

Экспериментальные исследования свидетельствуют о широком температурном диапазоне образования минералов этой группы (250–700 °C) и низких давлениях, не превышающих 1 кбар [8]. Можно предположить, что в более высокотемпературных условиях появляется банальсит, при снижении параметров осуществляется изоморфизм $Ba \leftrightarrow Sr$, а далее $Sr \leftrightarrow Ca$.

Минералы группы банальсита-стрональсита в ИММ впервые обнаружены в сандыитах, которые являются продуктами метасоматической переработки под влиянием ремобилизации расплава в условиях средней коры [10]. При дальнейших преобразованиях в сандыитах, в условиях, близких к высокосреднетемпературным гидротермальным процессам, под влиянием флюида, возникшего при тектонической активизации Ильменогорской региональной сдвиговой зоны [12], происходят изменения в нефелин-полевошпатовых агрегатах, которые приводят к образованию минералов группы банальсита-стрональсита.

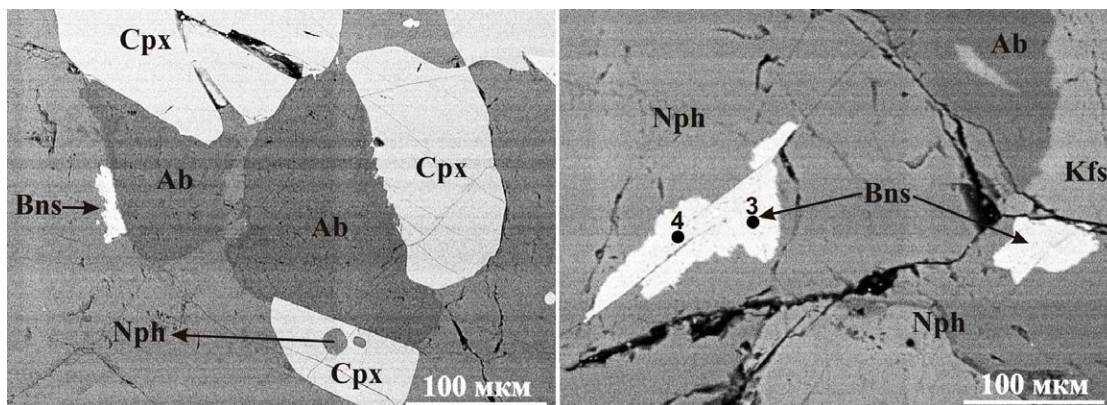


Рис. 5. Включение банальсита (Bns) в нефелине (Nph) (BSE): 3 — банальсит; 4 — стрональсит. (Cpx — клинопироксен, Ab — альбит)

Fig. 5. Inclusion of banalsite (Bns) in nepheline (Nph) (BSE): 3 — banalsite; 4 — stronalsite. (Cpx — clinopyroxene, Ab — albite)

Химический состав минералов группы банальсита-стрональсита (мас. % и к. ф.)

Chemical composition of minerals from banalsite-stronalsite group (wt. %)

	1	2	3 (c)	4 (r)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO ₂	39.24	39.81	39.87	40.06	38.0	38.59	37.02	37.84	39.12	38.90	38.49	40.29	37.87	40.25	38.03	36.49	37.43	38.44	38.83	40.33
Al ₂ O ₃	30.05	30.23	31.04	31.57	31.23	32.01	30.55	32.66	33.74	33.92	32.71	33.05	32.14	33.62	32.39	30.63	32.09	32.96	33.26	33.85
FeO	0.28	0.06	—	0.20	0.08	0.11	0.51	—	—	—	—	0.44	—	0.34	—	0.33	—	—	—	—
CaO	0.41	0.40	0.50	0.48	0.14	0.23	—	0.45	—	0.33	0.51	0.50	—	1.38	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	9.86	9.81	9.78	10.1	10.25	10.80	9.35	9.85	10.13	10.19	9.50	10.05	9.96	10.59	10.23	9.44	9.65	10.10	10.26	10.22
K ₂ O	0.47	0.48	0.42	0.31	0.08	0.10	—	—	—	—	—	—	0.18	—	—	—	—	—	—	—
BaO	12.86	12.51	11.97	8.18	13.58	6.61	22.86	11.30	2.62	1.58	8.67	2.34	16.44	1.18	13.84	22.77	15.27	8.86	6.96	0.42
SrO	5.56	5.44	5.49	8.08	6.63	11.64	0.14	7.41	13.85	14.83	9.91	12.40	3.33	13.35	6.19	0.64	5.45	9.35	10.63	15.16
Σ	98.73	98.74	99.07	98.98	100.0	100.0	100.6	99.51	99.46	99.75	99.79	99.07	99.92	100.7	100.7	100.3	99.89	99.71	99.94	99.98
Si	4.18	4.23	4.21	4.17	4.04	4.01	4.04	3.98	3.99	3.96	4.01	4.08	4.02	4.02	4.00	4.00	3.99	4.00	4.00	4.05
Al	3.77	3.78	3.86	3.87	3.91	3.92	3.93	4.05	4.06	4.07	4.01	3.95	4.02	3.96	4.01	3.96	4.03	4.04	4.04	4.01
Fe	0.02	0.01	0.00	0.02	—	—	0.04	—	—	—	—	0.03	—	0.03	—	0.03	—	—	—	—
Ca	0.05	0.05	0.06	0.05	0.02	0.03	—	0.05	—	0.04	0.06	0.05	—	0.15	—	—	—	—	—	—
Na	2.03	2.02	2.00	2.03	2.11	2.18	1.98	2.01	2.01	2.01	1.92	1.98	2.05	2.05	2.08	2.01	1.96	2.04	2.05	2.00
K	0.06	0.06	0.06	0.04	—	—	0.01	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—	—	—	—
Ba	0.54	0.52	0.49	0.33	0.57	0.27	0.98	0.47	0.11	0.06	0.35	0.09	0.68	0.05	0.57	0.98	0.64	0.36	0.28	0.02
Sr	0.34	0.33	0.34	0.49	0.41	0.70	0.01	0.45	0.82	0.88	0.60	0.73	0.20	0.77	0.38	0.04	0.34	0.56	0.64	0.88

Примечание. Анализы: 1—4 — из сандыитов ИММ; 5, 6 — из щелочных пироксенитов Жидойского массива [3]; 7—10 — из ийолитов Турьего мыса; 11, 12 — эссекситы Сахариокского массива; 13, 14 — из уртитов массива Гремяха-Вырмес; 15 — из фойяитов; 16—20 — из лужавритов Пилансберг [14]; «с» — центр, «г» — край, «—» не определено.

Note. Analyses: 1—4 — from sandyites of IMM; 5, 6 — alkaline pyroxenite of Zhidoy massif [3]; 7—10 — from ijolite of Turiy Mys; 11, 12 — from essexite of Sakhariok massif; 13, 14 — urtite of Gremyakh-Vyrmes massif; 15 — from foyaite; 16—20 — from lujaurite Pilansberg massif [14]; «c» — centre of the grain, «r» — rim of the grain, «—» — not determined.

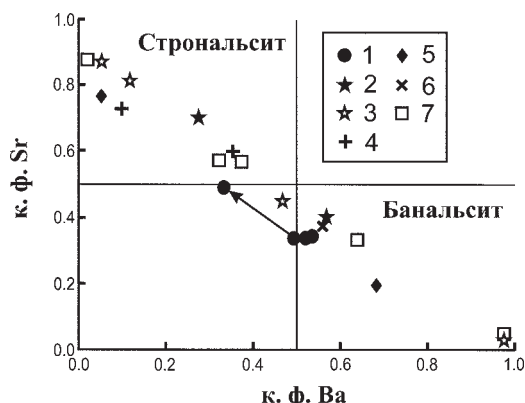


Рис. 6. Диаграмма составов банальсита-стрональсита из щелочных пород: 1 — сандыиты ИММ; 2 — щелочные пироксениты Жидойского массива; 3 — ийолиты Турьего мыса; 4 — эссекситы Сахариокского массива; 5 — уртиты массива Гремяха-Вырмес; 6 — фойяиты; 7 — лужавриты массива Пилансберг

Fig. 6. Diagram of compositions of banalsite-stronalsite from alkaline rocks: 1 — sandyites of Ilmenogorsky miaskite massif; 2 — alkaline pyroxenite of Zhidoy massif; 3 — ijolite of Turiy Mys; 4 — essexite of Sakhariok massif; 5 — urtite of Gremyakh-Vyrmes massif; 6 — foyaite; 7 — lujaurite Pilansberg massif



Литература

1. Ворошук Д. В. Полевые шпаты гранитоидных бластомилонитов: микроструктурные особенности и вариации химического состава // Ежегодник-2000 / ИГГ УрО РАН. Екатеринбург, 2001. С. 102—110.
2. Заварицкий А. Н. Геологический и петрографический очерк Ильменского минералогического заповедника и его копей. М., 1939. 196 с.
3. Конева М. Н. Банальсит и стрональсит из пироксенитов Жидойского массива // ЗРМО. 1996. № 2. С. 103—105.
4. Кошевой Ю. Н. История формирования и структурная эволюция ильменогорского комплекса: Диссертация // Фонды ИГЗ. 1985. 313 с.
5. Краснобаев А. А., Русин А. И., Бушарина С. В., Лепехина Е. Н., Медведева Е. В. Цирконология амфиболовых миаскитов Ильменогорского массива (Южный Урал) // ДАН. 2010. Т. 430. № 2. С. 227—231.
6. Левин В. Я. Щелочная провинция Ильменских-Вишневых гор. М.: Наука, 1974. 224 с.
7. Лиферович Р. П., Митчелл Р. Х., Шпаченко А. К., Зозуля Д. Р. Акцессорный минерал нефелиновых сиенитов — твердый раствор банальсит-стрональсит // Минералогия во всем пространстве сего слова: Труды II Ферсм. науч. сессии КО РМО. 2005. С. 54—57.
8. Минералы: Справочник. М.: Наука, 2003. Т. 5. Вып. 1. 583 с.
9. Немов А. Б. Структурно-текстурные особенности миаскитовых милонитов Ильменогорского массива (Южный Урал) // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI Геол. съезда Респ. Коми / Ин-т геологии Коми науч. центр УрО РАН. Сыктывкар, 2014. Т. 2. С. 116—119.
10. Немов А. Б. Сандыиты Ильменогорского миаскитового массива (Ю. Урал) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 7. С. 9—14.
11. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.
12. 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.
13. 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, P. 231—254.
14. Liferovich R. P., Mitchel R. H., Zozulya D. R., Shpachenko A. K. Paragenesis and composition of banalsite, stronalsite and their solid solution in nepheline syenite and ultramaphic alkaline rocks // The Canadian Mineralogist. 2006. V. 44, P. 929—942.
2. Zavaritskii A. N. *Geologicheskii i petrograficheskii ocherk Ilmenskogo mineralogicheskogo zapovednika i ego kopei* (Geological and petrographic review of Ilmensky reserve and mines). Moscow, 1939, 196 pp.
3. Koneva M. N. *Banalsit i stronalsit iz piroksenitov Zhidoyskogo massiva* (Banalsite and stronalsite from pyroxenites of Zhidoysky massif). ZRMO, 1996, No. 2, pp. 103–105.
4. Koshevoi Yu. N. *Istoriya formirovaniya i strukturnaya evolyutsiya ilmenogorskogo kompleksa* (History of formation and structural evolution of Ilmenogorsky complex). Dissertation. 1985, 313 pp.
5. Krasnobaev A. A., Rusin A. I., Busharina S. V., Lepehina E. N., Medvedeva E. V. *Tsirkonologiya amfibolovykh miaskitov Ilmenogorskogo massiva (Yuzhnyi Ural)* (Zirconology of amphibole miaskites of Ilmenogorsky massif). 2010, V. 430, No. 2, pp. 227—231.
6. Levin V. Ya. *Schelochnaya provintsiya Ilmenskih-Vishnevyyh gor* (Alkaline province of Ilmen-Vishnevy mountains). Moscow, Nauka, 1974, 224 pp.
7. Liferovich R. P., Mitchell R. H., Shpachenko A. K., Zozulya D. R. *Aktsessornyi mineral nefelinovykh sienitov - tverdyi rastvor banalsit-stronalsit* (Accessory mineral of nepheline syenites solid solution banalsite-stronalsite). *Mineralogiya vo vsem prostranstve sego slova*. Proceedings of RMS session, 2005, pp. 54—57.
8. *Mineraly* (Minerals). Reference book. V. 5, 1, Moscow, Nauka, 2003. 583 pp.
9. Nemov A. B. *Strukturno-teksturnye osobennosti miaskitovykh milonitov Ilmenogorskogo massiva (Yuzhnyi Ural)* (Structural-textural features of miaskite milonites of Ilmenogorsky massif (South Urals)). *Geologiya i mineralnye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii*. Proceedings of XVI Geological conference of Komi Republic. Institute of geology of Komi SC, UB RAS, Syktvykar, 2014, V. 2, pp. 116—119.
10. Nemov A. B. *Sandyity Ilmenogorskogo miaskitovogo massiva (Yu. Ural)* (Sandyites of Ilmenogorsky miaskite complex (South Urals)). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2015, No. 7, pp. 9—14.
11. *Petrograficheskii kodeks Rossii* (Petrographic code of Russia). *Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* (Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formations). St. Petersburg, VSEGEI, 2008, 200 pp.
12. Rusin A. I., Krasnobaev A. A., Rusin I. A., Valizer P. M., Medvedeva E. V. *Schelochno-ultraosnovnaya assotsiatsiya Ilmenskih-Vishnevyyh gor* (alkaline-ultrabasic association of Ilmen-Vishnevy mountains). *Geokhimiya, petrologiya, mineralogiya i genezis shchelochnykh porod*. Proceedings. Miass, IMin UB RAS, 2006, pp. 222—227.
13. 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.
14. Liferovich R. P., Mitchel R. H., Zozulya D. R., Shpachenko A. K. Paragenesis and composition of banalsite, stronalsite and their solid solution in nepheline syenite and ultramaphic alkaline rocks. *The Canadian Mineralogist*. 2006, V. 44, pp. 929—942.

References

1. Voroschuk D. V. *Polevye shpaty granitoidnykh blastomilonitov: mikrostrukturnye osobennosti i variatsii himicheskogo sostava* (Feldspars of granitoid blastomilonites: microstructural features and variation of chemical composition). *Ezhegodnik-2000. IGG UB RAS. Ekaterinburg, 2001, pp. 102—110.*

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЦИРКОН-БАДДЕЛЕИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Е. Г. Лихникевич¹, Е. Н. Левченко², О. А. Якушина¹, А. С. Фатов¹

¹ ФГУП «ВИМС им. Н.М.Федоровского», Москва
likhnikievich@mail.ru; infiniti400@mail.ru; yak_oa@mail.ru

² ФГУП «ИМГРЭ», Москва
levchenko@imgre.ru

Освоение минерально-сырьевых ресурсов редких и рассеянных металлов, представленных преимущественно комплексными низкокачественными полиминеральными рудами, представляет актуальную задачу для современной геологии и требует разработки инновационных технологических решений.

Комплексом минералого-аналитических методов изучен минеральный и химический состав циркон-бадделеитовых концентратов руд Алгагинского рудопоявления, дан прогноз их технологических свойств и предложен способ переработки с получением ликвидных товарных продуктов.

Разработана принципиальная термохимическая технология переработки, основанная на вскрытии циркон-бадделеитовых концентратов спеканием с известняком с последующим двухстадийным кислотным выщелачиванием спека. Введение операции сорбционного извлечения урана позволит при дальнейшей переработке растворов получить диоксид циркония и урановый химконцентрат.

Ключевые слова: циркон-бадделеитовые концентраты, химический состав, минеральный состав, морфоструктурные характеристики, термохимическая переработка, выщелачивание, гидрометаллургическая технология.

PRINCIPAL THERMOCHEMICAL TECHNOLOGY OF ZIRCON-BADDELEYITE CONCENTRATES PROCESSING

E. G. Likhnikievich¹, E. N. Levchenko², O. A. Yakushina¹, A. S. Fatov¹

¹ FSUE «VIMS», Moscow

² FSUE «IMGRE», Moscow

Zircon-baddeleyite bearing ores are composed of mostly loose, finely divided matter, i.e. they are natural and rich disintegrated slurry concentrate. Mineral and chemical composition of these ores has been studied by a complex of modern mineralogical methods that result in its technological properties forecast.

A principal innovative thermochemical technology for these ores was developed, which was based on the opening of zircon-baddeleyite by sintering with limestone followed by cake acid leaching. The uranium sorption operation induced in the cycle allows to obtain zirconium dioxide and uranium concentrate at further processing.

Keywords: zircon-baddeleyite concentrates, mineralogical study, composition, morphostructural characteristics, thermochemical processing, acid-leach processing, hydrometallurgical technology.

Введение

Стратегической задачей отечественной геологии является наполнение минерально-сырьевой базы редких и рассеянных металлов. Последняя хотя и значительна по своему ресурсному потенциалу, однако представлена преимущественно комплексными низкокачественными полиминеральными рудами. Такие руды характеризуются сложным текстурно-структурным рисунком и переменным содержанием полезных рудных минералов [2, 5], что определяет сложность их промышленной переработки и требует инновационных технологических решений большей частью в металлургическом переделе. Химическая переработка концентратов редкоземельно-редкометаллических руд сопряжена с целым рядом особенностей, обусловленных сложностью и нестандартностью их вещественного состава. Большинство продуктов обогащения содержит до 20 и более

минералов разных классов — силикаты, карбонаты, простые и сложные оксиды, сульфиды и др. Одни и те же полезные компоненты, как правило, находятся в нескольких минеральных формах, т. е. связаны с разными минералами. Концентраты обогащения имеют комплексный состав, для них характерна тонкая вкрапленность рудных минералов; содержание полезных металлов, находящихся в фазах в виде ультратонких сростаний с породообразующими минералами, может составлять до 20–40 % от их общего содержания, установленного элементным анализом.

Приоритетным направлением переработки комплексных труднообогатимых продуктов обогащения редкометаллических руд является сегодня гидрометаллургия, обеспечивающая либо непосредственно, либо в сочетании с методами обогащения существенное повышение полноты и комплексности использования сырья. Для технологичес-



кой оценки концентратов указанного типа с учетом современных достижений в области химии и химической технологии особое значение имеют процессы, обеспечивающие возможность формирования соединений заданного состава и различной растворимости.

Важнейшей промышленной технологией переработки редкометалльного сырья является термохимический способ, основанный на спекании с гидроксидами и карбонатами щелочных и щелочно-земельных металлов [3, 4]. Спекание сопровождается практически полным разложением всей массы сырья, что позволяет при последующем кислотном выщелачивании спека удалить примеси, в том числе радионуклиды, присутствующие в составе рудных и породообразующих минералов.

Целью настоящего исследования является разработка технологии переработки гравитационных концентратов природно-дезинтегрированных циркон-бадделеитовых руд Алгагинского рудопроявления с обеспечением комплексности использования и высокой степени извлечения полезных компонентов.

Объекты и методы исследования, постановка задачи

Алгагинское рудопроявление циркон-бадделеитовых руд, расположенное на севере Хабаровского края (Россия), представляет собой новый тип циркониевых руд и характеризуется значительными ресурсами диоксида циркония (ZrO_2), однако текущая степень изученности данного объекта недостаточна для его перевода в разряд месторождения [1]. Рудопроявление сформировалось за счет неоднократного природного обогащения при окарстовании рассеянных стратиформных хемогенно-осадочных образований в известковистых доломитах юдомской свиты (венд). В породах рудопроявления развито вторичное минералообразование в виде гнезд тонкомелкокристаллического карбоната, агрегатов мелкозернистого кварца. Циркон-бадделеитовые руды повсеместно дезинтегрированы и включают в основной своей массе (80 %) «рыхлые» и частично (20 %) «кусковые» разности. В среднем 70 % диоксида циркония сконцентрировано во фракции 10–40 микрон. В результате классификации из исходного материала выделяется обогащенная диоксидом циркония шламовая фракция, являющаяся по сути черновым «шламовым» концентратом. После рудоподготовки (дробление, измельчение) и гравитационного обогащения получен «зернистый» концентрат.

В исходных рудах установлено повышенное содержание урана — до 0.1–0.15 %, которое сопоставимо с предельно допустимым содержанием в цирконовом концентрате Верхнеднепровского ГМК и в несколько раз превышает таковые по зарубежным стандартам. Так как уран в рудах ассоциирует с циркониевыми минералами в виде изоморфной примеси и сорбированной формы, при обогащении он попадает преимущественно в циркониевые концентраты, следовательно, содержание урана в концентратах многократно превышает содержание в руде и все допустимые стандарты. Одной из главных проблем реализации гидрометаллургических схем переработки концентратов является получение ценных циркониевых концентратов и продуктов, не содержащих радиоактивных компонентов. Второй по значимости проблемой является решение вопросов по утилизации образующихся радиоактивных отходов, поэтому одной из решаемых задач настоя-

щего исследования является оценка распределения радионуклидов по продуктам гидрометаллургического передела концентратов Алгагинского месторождения.

Проведено изучение вещественного состава гравитационных концентратов обогащения двух технологических проб. Природно-дезинтегрированный рыхлый материал проб имел крупность менее 0.2 мм и был классифицирован на зернистую и шламовую фракции в каждой пробе. Анализы выполнялись в соответствии с отраслевыми нормативно-методическими документами научных советов по методам аналитических (НСАМ) и минералогических (НСОММИ) исследований. В работе использованы методы исследования: рентгеноспектральный элементный анализ (РСА), оптическая микроскопия (ОМ) и рентгенографический фазовый анализ (РФА) классифицированного и фракционированного материала, дополненные методами, которые позволяют получать количественные минералогические данные о тонкодисперсных минеральных системах, имеющих микронанометрическую размерность, — это микрорентгеномография (μ РТ), электронная микроскопия (ЭМ) и микрорентгеноспектральный анализ (МРСА).

Результаты и обсуждение

Материал гравитационных концентратов обогащения циркон-бадделеитовых руд песочного, песочно-полевого цвета характеризовался землистой, порошковой текстурой и тонкокристаллическизернистой структурой. Зернистый материал исследованных проб в разной степени ожелезнен — поверхность зерен карбонатов и кварца часто покрыта порошковой оболочкой гидроксидов железа. В шламовой фракции число таких железистых агрегатов (в основном карбонатов) больше, кроме того, наблюдается значительная, до 20 %, сегрегация материала.

Вещественный состав. Минеральный и химический состав продуктов переработки руд Алгагинского рудопроявления приведен в таблицах 1 и 2. Ввиду тонкой размерности зерен минеральный состав концентратов был установлен с помощью рентгенографического фазового анализа (РФА) методом порошка (табл. 2) с учетом данных оптической микроскопии. Для точной диагностики и определения реального состава минералов бадделеита и циркона микронной размерности применялся метод МРСА.

По данным рентгеноспектрального анализа (РСА), содержания диоксида циркония ZrO_2 и кремнезема SiO_2 значительно отличаются в зернистой и шламовой фракциях концентратов, диоксид кремния сосредоточен в шламовой фракции, диоксид циркония — в зернистой. Помимо циркония содержатся микропримеси других значимых редких и рассеянных элементов (иттрия, гафния, ниобия, вольфрама, урана).

Неоднородность минерального состава циркон-бадделеитовых концентратов предварительно была изучена неразрушающим методом рентгеновской микротомографии, μ РТ (микротомограф ВТ-50-1, Россия). Исследовался насыпной материал в кювете $\varnothing$ 1 мм (рис. 1). По значениям величины линейного коэффициента ослабления рентгеновского излучения (ЛКО) выделяется не менее 10 фаз (индивидуализированные области на томограммах), размеры которых варьируют от 5–10 до 200 мкм, в среднем составляют 20 мкм и менее.

Главными полезными рудными минералами циркония в изучаемых пробах являются бадделеит и циркон, которые присутствуют в виде индивидуализированных



Таблица 1

Химический состав концентратов обогащения, %

Table 1

Chemical composition of concentrates, %

Элемент/ компонент Component	Фракция Fraction	Концентрат обогащения – 1 Concentrate-1		Концентрат обогащения – 2 Concentrate-2	
		Зернистая Grain	Шламовая Slurry	Зернистая Grain	Шламовая Slurry
		–0.2+0.044 мм	–0.044 мм	–0.2+0.044 мм	–0.044 мм
ZrO ₂		80.397	53.178	9.023	12.463
SiO ₂		9.701	36.703	77.505	74.652
SrO		—	—	0.006	—
Y ₂ O ₃		0.063	0.053	0.043	0.099
Nb ₂ O ₅		0.535	0.350	0.064	0.080
BaO		—	—	0.109	0.117
HfO ₂		1.499	0.945	0.249	0.204
Ta ₂ O ₅		0.031	—	—	—
WO ₃		2.001	1.310	0.108	0.058
PbO		0.011	0.012	0.005	—
Na ₂ O		0.053	0.038	—	—
MgO		0.093	0.327	1.161	0.391
Al ₂ O ₃		0.027	2.327	0.284	0.415
P ₂ O ₅		0.597	0.530	0.767	1.261
SO ₃		0.248	—	0.113	0.210
Cl		—	—	0.012	—
K ₂ O		0.059	0.141	0.016	0.035
CaO		0.915	0.726	4.660	3.041
TiO ₂		0.050	—	0.016	0.024
V ₂ O ₅		—	0.040	—	—
Cr ₂ O ₃		—	—	—	0.013
MnO		—	0.142	0.418	0.660
Fe ₂ O ₃		0.988	1.097	1.773	3.025
CuO		0.030	0.017	0.012	0.015
ZnO		0.005	0.005	0.010	0.012
As ₂ O ₃		0.056	0.032	0.013	0.019
U		0.223	0.018	0.032	0.089

Примечание. «—» — не обнаружен.

Note. «—» — not detected.

зерен и их обломков размером, как правило, менее 50 мкм (рис. 2, 3). Собственных минеральных форм вольфрама, урана, иттрия, гафния, ниобия, титана, ванадия, свинца, содержащихся, по данным элементного анализа (табл. 1), в исследованных пробах, не установлено.

Породообразующие минералы находятся в основном в виде зерен, обломков и их агрегатов микрометрового, субмикрометрового размера. Главный породообразующий минерал — кварц в виде прозрачных и полупрозрачных обломков; второстепенные карбонаты — доломит, кальцит. В шламовой фракции установлено повышенное содержание каолинита до 6 %, присутствие гидроксидов железа до 1—2 %. Карбонаты тесно ассоциируют с гетитом, образующим тонкие порошковые пленки на их поверхности, формируя тонкодисперсные полиминеральные агрегаты. По данным РФА, были установлены:

— в весьма малых количествах *apatit* 1—2 % (диагностирован как фторапатит), который может ассоциировать с цирконом;

— *бадделейт*. Присутствует в виде полиминеральных коллоидных агрегатов и индивидуализированных беловато-розоватых зерен с жирным блеском. Зерна, как правило, имеют сглаженные, оплавленные формы (рис. 2, А). Нередко фиксируется неоднородное строение зерен минерала. Коллоидные агрегаты — сферолитоподобные

желваки и игольчатые образования («ежики») размером 10—20 мкм. С бадделейтом может быть связано присутствие диоксида гафния HfO₂, достигающее 1.5 % и урана U 0.2—0.22 % (табл. 1). Самостоятельных минеральных фаз гафния и урана не выявлено: известно, что они изоморфно входят в кристаллическую структуру бадделейта, кроме того, уран может также находиться в сорбированной форме. Вероятно, что в структуру бадделейта входит вольфрам, а микропримеси титана и ванадия (табл. 1) могут быть механическими;

— *циркон*. Находится преимущественно в виде агрегатов, сформированных цирконом и породообразующими минералами (рис. 2, Б), на поверхности которых отмечены рыхлые примазки гидроксидов железа, а также в виде индивидуализированных зерен. Зерна и их обломки оранжевого, бурого-оранжевого цвета имеют характерную короткопризматическую дитетрагональную форму. Размеры зерен менее 10 мкм. Коллоидные хлопьевидные агрегаты находятся преимущественно в классах крупности –0.2 + 0.044 мм. Индивиды в разной степени изменены, имеют зональное строение, несут на себе следы перекристаллизации. Циркон представлен двумя разновидностями (измененный и неизмененный), распределенными в руде неравномерно, преобладает измененный циркон.



Таблица 2

Минеральный состав концентратов обогащения, %

Table 2

Mineral composition of concentrates, %

Фракция Fraction Минералы Minerals	Концентрат обогащения — 1 Concentrate-1		Концентрат обогащения — 2 Concentrate-2	
	Зернистая Grain	Шламная Slurry	Зернистая Grain	Шламная Slurry
	–0.2+0.044 мм	–0.044 мм	–0.2+0.044 мм	–0.044 мм
Бадделейт Baddeleyite	82	55	5	4
Циркон Zircon	9	5	8	15
Кварц Quartz	6	32	73	70
Доломит Dolomite	2	—	6	4
Кальцит Calcite	—	—	4	3
Апатит Apatite	+	+	2	2
Каолинит Kaolinite	—	6	—	—
Гидроксиды железа Iron hydroxides	1	2	2	2
Всего Total	100	100	100	100

Примечание. По данным РФА и ОМ; «+» — присутствует; «—» — не обнаружен; возможно присутствие рентгеноаморфной фазы (гидроксиды железа) — 1–2 %.

Note. «+» present; «—» — not present; possibly presence of X-ray amorphous phase (iron hydroxides) — 1–2 %.

По данным сканирующей ЭМ, цирконийсодержащие фазы морфологически представлены коллоидными сферическими агрегатами (рис. 3, А–В), а также разнообразными мелкими обломками неправильной формы (рис. 3, Г). Сферические и псевдосферические образования (рис. 3, В) являются зональными, причем светлые и темные зоны отличаются друг от друга небольшими (порядка 1 мас. %) колебаниями содержания циркония Zr. На рисунке 3, Б наиболее светлые зоны сферолитов — «бадделейтовые», центральные их части — «циркониевые», краевые зоны окаймлены карбонатами циркония. «Циркониевые» участки содержат повышенное количество Са, Al, Р и Fe, а «бадделейтовые» — U. Эти агрегаты прорезаются цирконийсодержащими карбонатами, в которых концентрируются мельчайшие (1–2 мкм) кристаллиты апатита (мелкие черные точки в темном участке справа на рис. 3, Б). Существующее мнение о развитии в этих рудах гель-циркона, видимо, связано с наличием округлых оолитоподобных выделений, аналогичных приведенным на рисунке 3, А. Методами электронной микроскопии установлено, что такие выделения в действительности сформированы индивидуализированными зернами короткостолбчатой призматической панидиоморфной формы, нередко со сглаженными очертаниями. Был проведен синхронный термический анализ (СТА, NETSCH STA 449 F1 Jupiter, Германия) при скорости нагрева 10 °С/мин в интервале температур 30–1050 °С, который выявил наличие гидроксильной составляющей в исследуемом образце, а также присутствие двух аморфных фаз в цирконийсодержащих комплексах: аморфного кремнезема и аморфного карбонатного материала. Полученные данные объясняют

низкие значения суммы оксидов в рентгеноспектральном анализе, которые не превышают 95 мас. %. Однако методом рентгенографического фазового анализа в исследованных концентратах гель-циркон установлен не был.

Химико-технологические исследования. Переработка циркон-бадделейтовых гравитационных концентратов термохимическим способом предусматривает предварительную механическую активацию циркон-бадделейтового концентрата с получением порошка с высокой удельной поверхностью, его спекание с последующим двухстадийным разложением спеков при разных температурных режимах и сорбционное извлечение урана с получением диоксида циркония ZrO_2 необходимого качества и уранового химконцентрата.

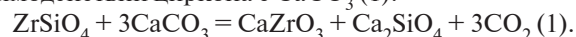
Технологические параметры эксперимента:

— спекание: концентрат $CaCO_3:CaCl_2 = 1:2.5:0.5$; $\tau = 3$ ч; $t = 1100$ °С;

— 1 стадия выщелачивания спека: 50 г/л HCl, $\tau = 18$ °С; Т:Ж = 1:20; $\tau = 2$ ч;

— 2 стадия выщелачивания спека: 200 г/л HCl, $t = 70$ –80 °С; Т:Ж = 1:10; $\tau = 2$ ч.

Известно, что бадделейт и циркон относятся к особо трудновскрываемым минералам, поэтому перевод минералов циркон-бадделейтовых концентратов в кислоторастворимые соединения циркония проводится путем спекания с карбонатом кальция. Данный процесс основан на взаимодействии циркона с $CaCO_3$ (1):



Для снижения температуры реакции в шихту добавляют хлорид кальция (~5 % от массы концентрата), что позволяет снизить температуру спекания до 1100 °С, сдвигая

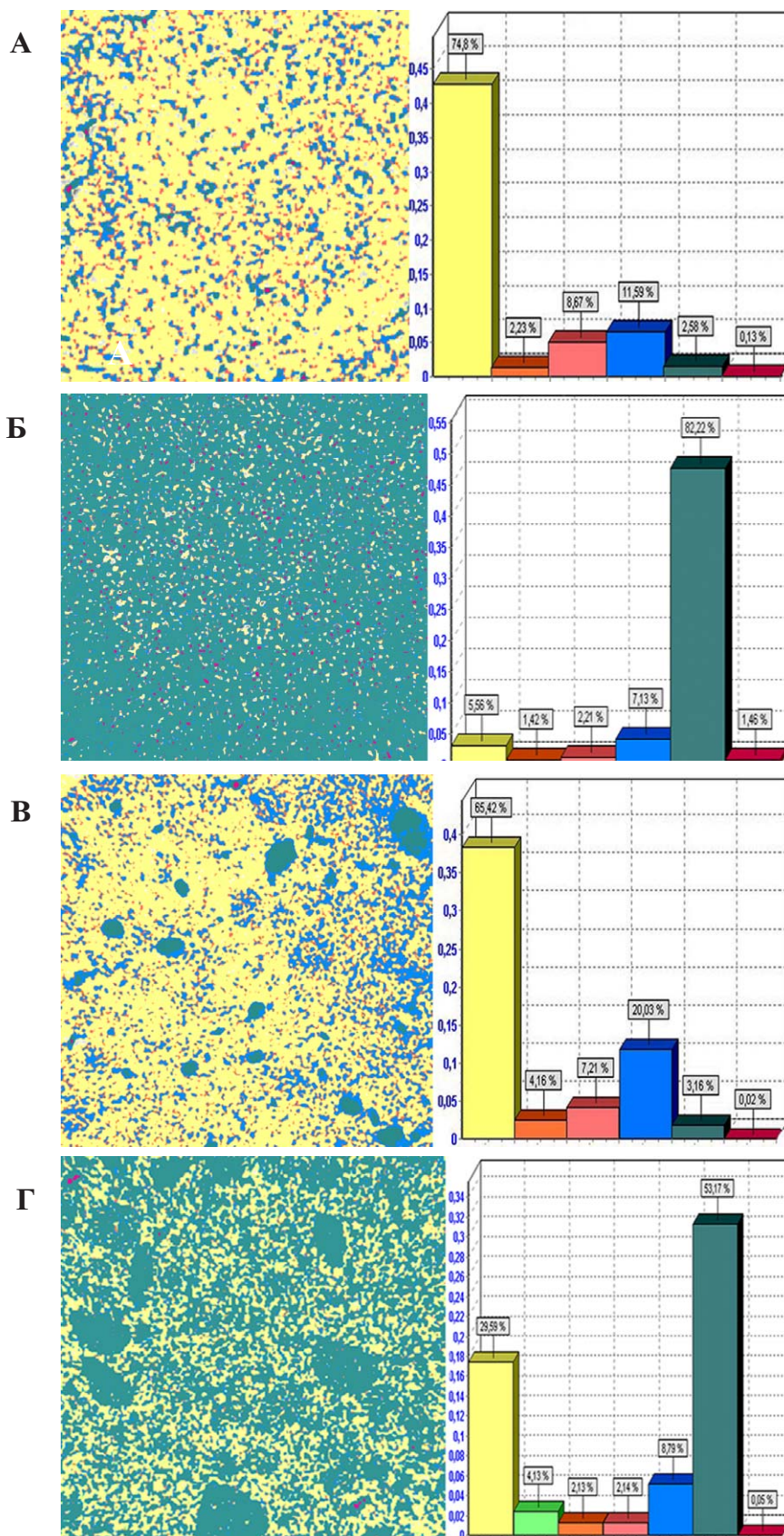


Рис. 1. Классифицированный материал концентратов обогащения, μRT . А, Б — зернистая фракция ($-0.2 + 0.044$ мм), В, Г — шламовая фракция (-0.044 мм); А, В — концентрат-2; Б, Г — концентрат-1. Разделение на фазы по системе TomAnalysis и гистограмма их соотношения, в %: желтое — кварц, светло-зеленое — слоистые алюмосиликаты, оранжевое — гидроксиды железа, лососевое — карбонаты, синее — циркон, зеленое — бадделейт, малиновое — неизмененный циркон

Fig. 1. Classified material of enrichment concentrates, μRT . А, Б — grained fraction ($-0.2 + 0.044$ mm), В, Г — slurry fraction (-0.044 mm); А, В — concentrate-2; Б, Г — concentrate-1. Division into phases by system TomAnalysis system and histogram of the ratio in %: yellow — quartz, light green — layered aluminum silicates, orange — iron hydroxides, salmon — carbonates, blue — zircon, green — baddeleyite, raspberry — unaltered zircon

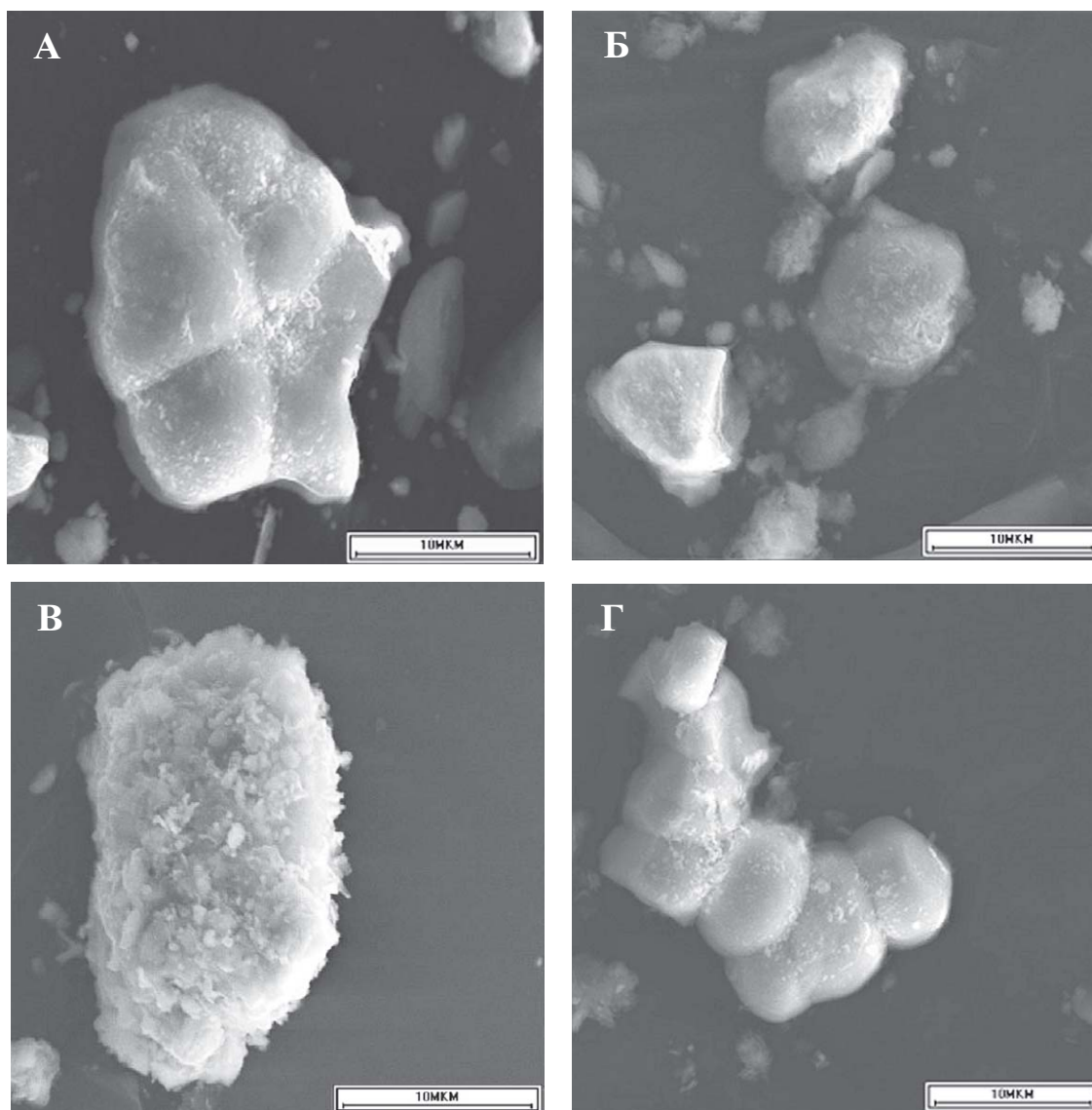


Рис. 2. Минеральные формы циркония: частично сглаженные кристаллы бадделеита — таблитчатый (А) и пластинчатый (Б); агрегаты циркона — хлопьевидный (В) и колломорфный (Г), РЭМ

Fig. 2. Mineral forms of zirconium: partially flattened crystals of baddeleyite — tabular (A) and plate (B); aggregates of zircon — flake (B) and colloform (Г), SEM

гая ее в область более низких температур и ускоряя твердофазную реакцию между компонентами шихты вследствие образования легкоплавкой эвтектики в системе $\text{CaCO}_3 - \text{CaCl}_2$.

Разложение спеков, в отличие от существующих технологий переработки бадделеитовых концентратов, проводится в две стадии путем селективного выщелачивания минеральных соединений.

Первоначально спек обрабатывается при температуре 18°C 5—10 % раствором соляной кислоты для удаления избыточного оксида кальция и разложения ортосиликата кальция. Образующаяся коллоидная кремниевая кислота удаляется вместе с раствором. Для дополнительной очистки от оксида кремния кеки обрабатываются едким натром.

Затем нерастворившийся остаток, содержащий цирконат кальция, выщелачивается 20—30 % раствором HCl при нагревании до $70\text{—}80^\circ\text{C}$ и получают растворы, содержащие основной хлорид циркония.

Результаты переработки усредненных концентратов обогащения термохимическим способом, приведенные в таблице 3, показывают, что использование термохимической технологии обеспечивает вскрытие циркон-бадделеитовых концентратов: в раствор извлекается более 96 % ZrO_2 (зернистая фракция) и более 89 % ZrO_2 (шламовая фракция). Одновременно в раствор извлекается практически весь уран (99.9—100.0 %) по сорбционной технологии [6]. В качестве сорбента использован сильноосновный анионит АМП. При десорбции урана с насыщенного им анионита раствором $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{HNO}_3$ получен товарный элюат. Осаждение урана из элюата аммиаком обеспечивает получение уранового химконцентрата, содержащего ~ 75 % U_3O_8 .

Принципиальная технологическая схема переработки концентратов обогащения руд Алгаминского рудопроявления приведена на рисунке 4.

В результате исследований и экспериментальных работ было установлено, что переработку зернистой и шла-

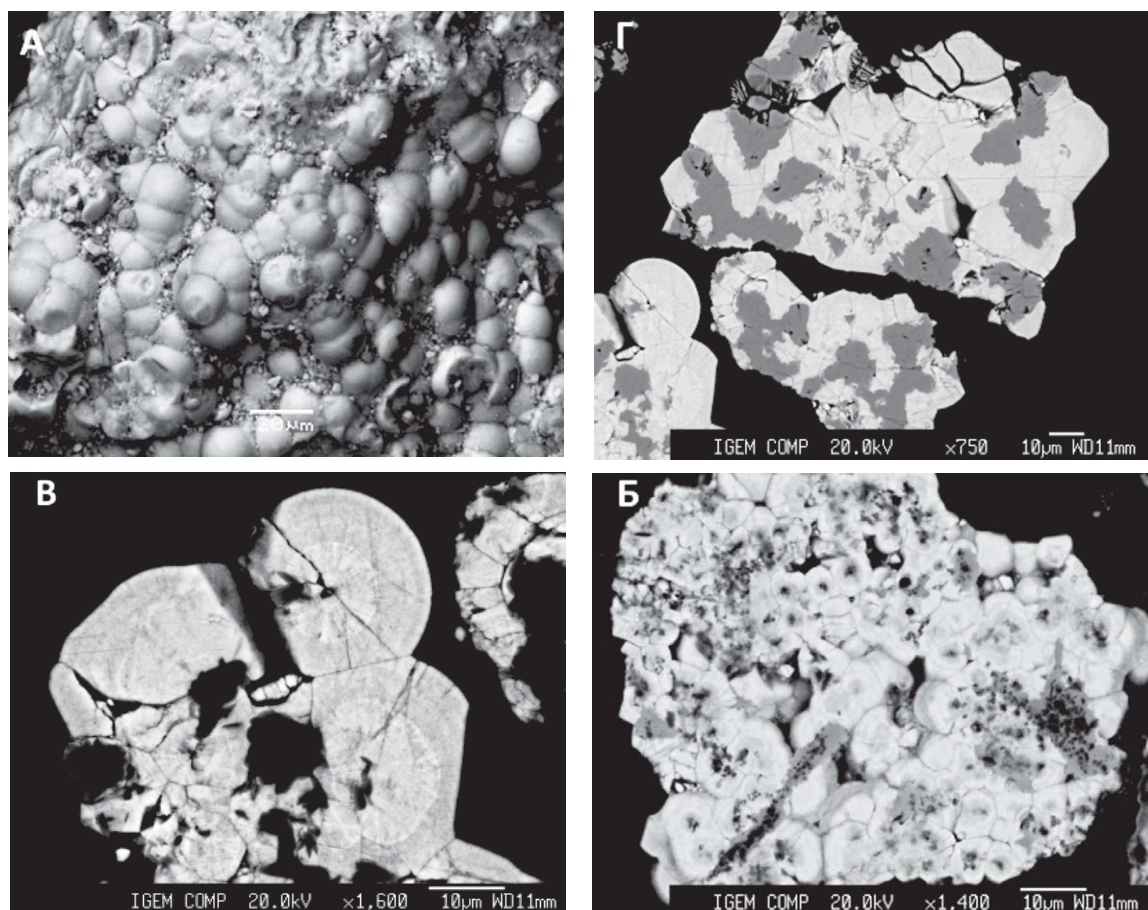


Рис. 3. Формы нахождения циркониевых фаз в породах рудопроявления Алгама: А — колломорфные выделения криптокристаллических агрегатов циркониевых фаз; Б — сингенетичное образование гидросиликатов, гидроксидов и карбонатов циркония в сростании с апатитом (мелкие черные кристаллы), полированный шлиф; В — радиально-лучистое строение агрегатов циркониевых минералов, полированный шлиф; Г — сростки силиката и гидросиликата циркония (темные участки) с оксидами и гидроксидами циркония, СЭМ

Fig. 3. Forms of occurrences of zircon phases in the Algama rocks: A — colloform occurrences of cryptocrystalline aggregates of zircon phases; Б — syngenetic formation of hydrosilicates, hydroxides and carbonates of zirconium joint with apatite (small black crystals), polished thin section; В — radially fibrous structure of aggregates of zirconium minerals, polished thin section; Г — aggregates of silicate and silicate zirconium (dark areas) with oxides and hydroxides of zirconium, SEM

Результаты термохимической переработки концентратов обогащения

Таблица 3

Results of thermochemical processing of concentrates

Table 3

Компонент Component	Зернистый концентрат, выход кека от шихты 10.2 % Grain concentrate, Cake yield from charge 10.2%			Шламовый концентрат, выход кека от шихты 15.38 % Slurry concentrate Cake yield from charge 15.38%		
	Содержание в исходной пробе, % Content in initial sample, %	Содержание в кеке, % Content in cake, %	Извлечено в раствор, % Derived in solution, %	Содержание в исходной пробе, % Content in initial sample, %	Содержание в кеке, % Content in cake, %	Извлечено в раствор, % Derived in solution, %
ZrO ₂	71.35	6.46	96.80	41.50	10.11	89.62
P ₂ O ₅	1.75	0.21	83.3	0.69	0.66	32.33
Fe ₂ O ₃	2.13	0.09	94.08	2.68	0.57	71.72
HfO ₂	2.19	0.24	96.23	1.35	0.37	78.92
SiO ₂	9.97	15.53	4.57	37.28	60.66	9.77
U	0.27	0.001	99.90	0.10	—	100.00
CaO	3.93	1.15	2.45	6.14	11.96	—
Y ₂ O ₃	0.09	0.07	65.18	0.05	—	100.00
Al ₂ O ₃	0.61	0.24	64.33	1.54	0.22	94.87
TiO ₂	1.09	0.19	1.45	0.67	0.09	96.26

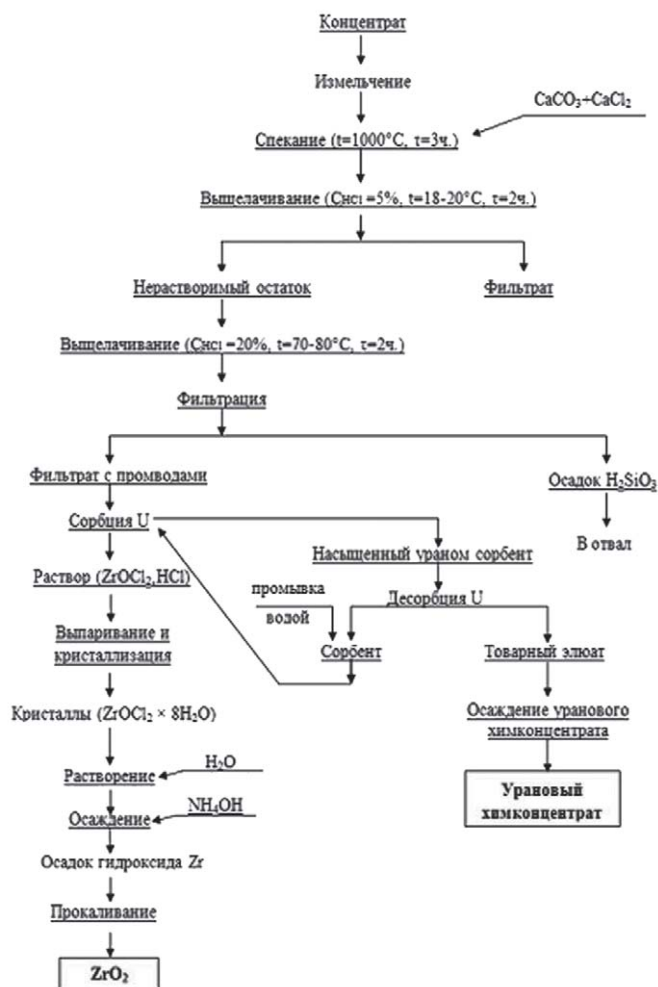


Рис. 4. Принципиальная технологическая схема переработки концентратов обогащения руд Алгаминского рудопоявления

Fig. 4. Flowsheet for concentrates processing of Algamma deposit

мовой фракций можно проводить в едином технологическом режиме. Введение операции сорбционного выделения урана из солянокислых растворов обеспечивает получение диоксида циркония и уранового химконцентрата.

Заключение

Комплексом современных минералого-аналитических методов установлен минеральный состав и текстурно-структурные характеристики концентратов руд Алгаминского рудопоявления, а также особенности главных минералов — концентратов циркония — циркона и бадделейта. Полученные данные положены в основу разработки технологии переработки этих концентратов. В результате экспериментальных исследований была создана принципиальная термохимическая технология переработки концентратов обогащения циркон-бадделейтовых руд Алгаминского рудопоявления, обеспечивающая селекцию диоксида цир-

кония и кремния. Введение операции сорбционного выделения урана из солянокислых растворов обеспечивает получение циркония и уранового химконцентрата.

Литература

1. Багдасаров Ю. А. Ингилийско-Алгаминский узел Восточного Алдана // Отечественная геология. 1994. № 1. С. 18—28.
2. Григорьева А. В., Левченко Е. Н., Магазина Л. О., Борисовский С. Е., Куликова И. М. Новый нетрадиционный тип циркониевого оруденения (рудопоявление Алгама) // Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования: Матер. конф. М.: ИГЕМ РАН, 2015. С. 186—187.
3. Сидоренко Г. А., Александрова И. Т., Петрова Н. В. Технологическая минералогия редкометалльных руд. СПб.: Наука, 1992. 236 с.
4. Лихникевич Е. Г., Лебедева Ю. И. Особенности термохимической переработки пироклоровых концентратов // Разведка и охрана недр. 2014. № 1. С. 46—48.
5. Ожогина Е. Г., Якушина О. А., Иоспа А. В. Особенности минералогического изучения руд // ГИАБ. 2014. № 3. С. 300—303.
6. Петрова Н. В., Ануфриева С. И., Лихникевич Е. Г., Печенкин И. Г. Практика переработки уранового сырья / Под ред. Г. А. Машковцева. М.: ВИМС, 2008. 269 с.

References

1. Bagdasarov Yu. A. Ingiliysko-Akgaminsky uzel Vostochnogo Aldana (Ingiliysko-Akgaminsky cross of Eastern Aldan). Otechestvennaya geologia. 1994, No 1, pp. 18—28.
2. Grigorieva A. V., Levchenko E. N., Shop L., Borisov S. E., Kulikova I. M. Novii netraditsionnii tip zirconiyevo orudinenia — rudoproyavlenie Alhama (New unconventional type zirconium mineralization (mineralization of Alhama). Proceedings of the conference «Deposits of strategic metals: regularities of distribution, sources of substances, conditions and mechanisms of formation». Moscow, IGEM RAS, 2015, pp. 186—187.
3. Sidorenko G. A. Alexandrova T. P., Petrova N. V. *Technologicheskaya mineralogiya redkometallnich rud.* (Technological mineralogy of REE ores). St. Petersburg, Science, 1992. 236 pp.
4. Lihnikovich E. G. *Osobennosti termochimicheskoy pererabotki Pyrochlorovich kontsentrato*v (Features thermochemical processing Pyrochlore concentrates). J. Exploration and Protection of mineral resources. 2014, No. 1, pp. 46—48.
5. Ozhogina E. G., Yakushina O. A., Iosha A. V. *Osobennosti mineralogicheskogo izachenioya rud* (Features of ores mineralogical study). Mining information-analytical Bulletin, GIAB. 2014, No. 3, pp. 300—303.
6. Petrova N. V., Lihnikovich E. G., Anufrieva S. I., Pechenkin I. G. *Praktika pererabotki yranovogo sirja* (Practice of Uran raw matter processing) Ed. G. A. Mashkovtsev. Moscow, VIMS, 2008, 269 pp.

XMT MICROPALAEONTOLOGICAL STUDY OF THE SILICITES

A.V. Zhuravlev¹, A. I. Gerasimova²

¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar
micropalaeontology@gmail.com

²GeoInvestProekt Inc., St-Petersburg
jiiin-94@mail.ru

The article deals with possibilities of the computed X-ray microtomography (XMT) in micropalaeontological (conodonts) study of the siliceous and clayey deposits. Using of the traditional methods in this type of deposits is difficult.

The work is based on collection of silicites (lithological type xa1), clayey silicites (lithological type xa2), cherty argillites (lithological type xa3), and limy silicites (lithological type xa4) from the deep-water Devonian and Carboniferous sequences of the Subpolar Urals and NE Pay-Khoy.

Thirty-eight samples (about 20.4 cm³) were studied with X-ray microtomographs SkyScan 1272 and SkyScan 1173 in the NMSU «Gornyi» (Saint-Petersburg, Russia) with spatial resolution of 4—7 µm. About 190 conodont elements and their fragments were found in the tomograms.

The possibility of recognition of the conodont elements depends on lithological type of the host rock. The best contrast between conodont elements and host rock is detected in lithological types xa1 and xa3. These lithological types demonstrate maximal concentration of the conodont elements in the rock as well. The concentration of conodonts is up to 90 spec./cm³. The present study shows that XMT method is useful for search and identification of the conodonts in siliceous and clayey deposits. Taxonomic identification is possible just in tomograms of high spatial resolution (5—7 µm).

Keywords: conodonts, X-ray microtomography, siliceous rocks.

РЕНТГЕНОТОМОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД МИКРОПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ КРЕМНИСТЫХ ПОРОД

А. В. Журавлев¹, А. И. Герасимова²

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

²ООО «ГеоИнвестПроект», Санкт-Петербург

Статья посвящена возможностям использования рентгенотомографического метода для микропалеонтологического (конодонты) изучения кремнистых и кремнисто-глинистых отложений, в которых применение традиционных методов затруднено.

Материалом для данной работы послужили образцы различных силицитов и кремнистых аргиллитов из глубоководных отложений девонского и раннекаменноугольного возраста Приполярного Урала и Северо-Восточного Пай-Хоя.

Рентгенотомографическое изучение 38 образцов общим объемом 20.4 см³ проводилось на томографах SkyScan 1272 и SkyScan 1173 в НМСУ «Горный» (Санкт-Петербург) с пространственным разрешением 4—7 мкм.

Полученные результаты показали, что наиболее контрастны по рентгеновской плотности и хорошо опознаются на томограммах конодонтовые элементы в чистых силицитах и кремнистых аргиллитах. В этих же породах отмечена максимальная концентрация конодонтовых элементов. Рентгенотомографический метод может использоваться для поиска и идентификации конодонтовых элементов, вне зависимости от формы их сохранности, в сложно дезинтегрируемых кремнистых и глинисто-кремнистых породах. Таксономическая диагностика возможна лишь при высоком пространственном разрешении томограмм (размер элемента изображения меньше 5—7 мкм).

Ключевые слова: конодонты, рентгеновская микротомография, кремнистые породы.

Introduction

The deep water and volcanoclastic deposits yield the siliceous rocks. Biostratigraphical study of this wide spreading type of sediments is difficult due to taphonomical and palaeoecological reasons. Rare occurrence of the carbonate remains of macro- and microfauna is accompanied with difficulty in extraction of siliceous and phosphate microfossils from the siliceous deposits. Traditionally three methods are used for conodont study in the siliceous and clayey-siliceous rocks [10, 8]: hydrofluoric acid disintegration of the rock; search of the

bed-plane remains of conodont elements; conodont investigation in the thin and polished sections [13, 9, 11, 4]. The acid disintegration is the most effective method; however this reagent is very toxic and leads to conodont element damage in some cases [8]. The search of the conodont elements on the bedding planes is useful just for the microlaminated (clayey) silicites. The study of conodonts in thin and polished sections needs a high abundance of conodont elements, and allows just rough taxonomic diagnostics, especially for the morphologically complex taxa [9, 4].



The radiography was used for conodont study by some authors [8, 12, 6], however with little success due to low radiodensity contrast between the conodont elements and the host rocks.

Appearance in the late decade of the x-ray microtomography (XMT) with a high spatial resolution promises new opportunities in conodont study in the siliceous and clayey deposits [7, 5, 1, 2]. This article is aimed to consider the XMT possibilities.

Methods

Computed microtomography (XMT) is X-ray imaging in 3D. It represents true 3D microscopy, where a very fine scale internal structure of objects is imaged non-destructively. The present study was based on XMT systems SkyScan 1173 and SkyScan 1272 (Bruker, Belgium) of National Mineral Resources University (Saint-Petersburg, Russia). The samples were scanned with an isotropic voxel resolution of 3–7 mcm at 70–90 kV source voltage (Al 0.5 mm and Al 0.5+Cu 0.038 filters). The reconstructions were made with NRecon software (Bruker, Belgium).

Material

The Devonian and Early Carboniferous deep-water silicites (cherts) and cherty argillites from the Sub-Polar Urals (Kozhym River and Kharuta River sections), NE Pay-Khoy (Kara River, Khardto Lake, Labsuyakha and Peschanaya rivers sections) were studied. The carbonates were excluded from the studied collection due to low radiodensity contrast between calcite, dolomite and conodont bioapatite. The siliceous and clayey deposits possess low radiodensity providing good contrast between the conodont elements and the host rock [1].

The samples of various silicites and cherty argillites containing conodont elements were selected for this study. The 38 rock pieces of 5–15 mm size (0.1–3.9 cm³) were scanned mainly with Skyscan 1272 with an isotropic voxel resolution of 4–7 mkm.

3-dimensional reconstructions and processing were made using NRecon, CTVOX, DataViewer (SkyScan, Bruker), Voxler 3 (Golden Software), VolView 3 (Kitware Inc.), 3D Analyser («GeoInvestProekt»), and MeshLab (Visual Computing Lab — ISTI — CNR) software.

All the studied samples correspond to four lithological and genetic types [3]: gray to dark-gray massive or unclear laminated silicites (xa1); clayey gray to dark-gray silicites possessing wavy lamination (xa2); black carbonaceous and cherty laminated argillites (xa3); gray limy silicites demonstrating wavy lamination (xa4).

Results

The quality of the tomographic images of conodont elements depends on the host rock type, because of different relations of the radiodensities of conodont elements and rocks [1, 2]. The highest radiodensity contrast was detected in the pure silicites and cherty argillites. These lithological types demonstrate much lower radiodensity than conodont elements (Fig. 1). Increasing carbonate content in the host rock leads to decreasing contrast due to close radiodensities of the calcite, dolomite and conodont bioapatite.

The radiodensity of conodont element matter depends on the source voltage: it is about 0.035 mm⁻¹ for 90 kV source voltage (Al 0.5 + Cu 0.038 filter) and 0.05–0.06 mm⁻¹ for 70 kV source voltage (Al 0.5 filter) [1]. The radiodensity value can vary significantly depending on digital processing of the tomogram, sample size, and type of the host rock (Fig. 1).

The abundance of conodont elements in the study samples varies from 0 up to 90 elements per cubic cm; some samples were empty (Text-table 1). Total volume of the study samples was 20.4 cm³.

The cherty argillites (lithological type xa3) possess the highest abundance of conodont elements (from 4 up to 90 elements per cubic cm, 24 elements per cubic cm in average (studied volume is 3.6 cm³). The conodont elements and their debris are distributed and oriented along the bedding planes (Fig. 2).

Lithological types xa1 and xa2 demonstrate lower abundance of conodont elements: 0–35 elements per cubic cm, 6 elements per cubic cm in average (studied volume is 14.3 cm³). The conodont elements are scattered in the rock or concentrated along the bedding planes marked by clayey matter and/or radiolarians (Fig. 3).

The limy silicites (xa4) possess the lowest abundance of conodont elements: 2–8 elements per cubic cm, 3–4 elements per cubic cm in average (studied volume is 2.56 cm³). The conodont elements show both the chaotic and ordered along the bedding planes distribution in the rock (Fig. 4).

The close relation between the conodont element abundance and concentration of the radiolarians was detected in the study samples (Fig. 5). The concentration of radiolarians was evaluated on the basis of study of the thin and polished sections. The rocks containing more than 7 % of radiolarians show low concentration of conodont elements (less than 10 elements per cm³). Wide variations of the conodont element abundance are characteristic for rocks containing less than 7 % of radiolarians (Fig. 5). This tendency is true not only for the cherty silicites but for all the lithological types (Fig. 5).

It is interesting to note that debris of conodont elements are common in the studied rocks. The debris/element ratio is up to 2 in the clayey silicites and cherty argillites. Thus we can suppose that conodont element fragmentation, observed in the conodonts extracted from the rock, rather depends on preservation, than on sample processing.

Some samples of cherty argillites and clayey silicites demonstrate specific mode of preservation of conodont elements as molds. XMT allows reconstructing morphology of the conodont elements on the basis of the molds (Fig. 2).

The XMT data of high spatial resolution (voxel size less than 4 mkm) allow taxonomic diagnostics of the conodont elements. E.g. species of *Siphonodella*, *Ancyrodella*, and *Polygnathus* were recognized in cherty argillites, and species of *Siphonodella*, *Palmatolepis*, and *Polygnathus* were distinguished in silicites (Fig. 6). The lower spatial resolution (voxel size larger than 7 mkm) makes it impossible to determine the conodonts at both the species and genus levels.

Discussion

The XMT investigations of the cherty rocks demonstrate possibility of using of this method for search and study of the conodont elements in rock. The method is effective in case if conodont abundance is larger than 2000 elements per kg (about 5–6 elements/cm³). In this case sample size of 0.5–1 cm³, which can be scanned in the micro-tomograph with high resolution, provides presence of some conodont elements. Cherty argillites, clayey and pure silicites may possess such abundance of conodont elements according the data obtained. Additionally it is difficult to process these lithological types with traditional methods (acid disintegration), and these rocks have low radiodensity providing visibility of the conodont elements in tomograms.

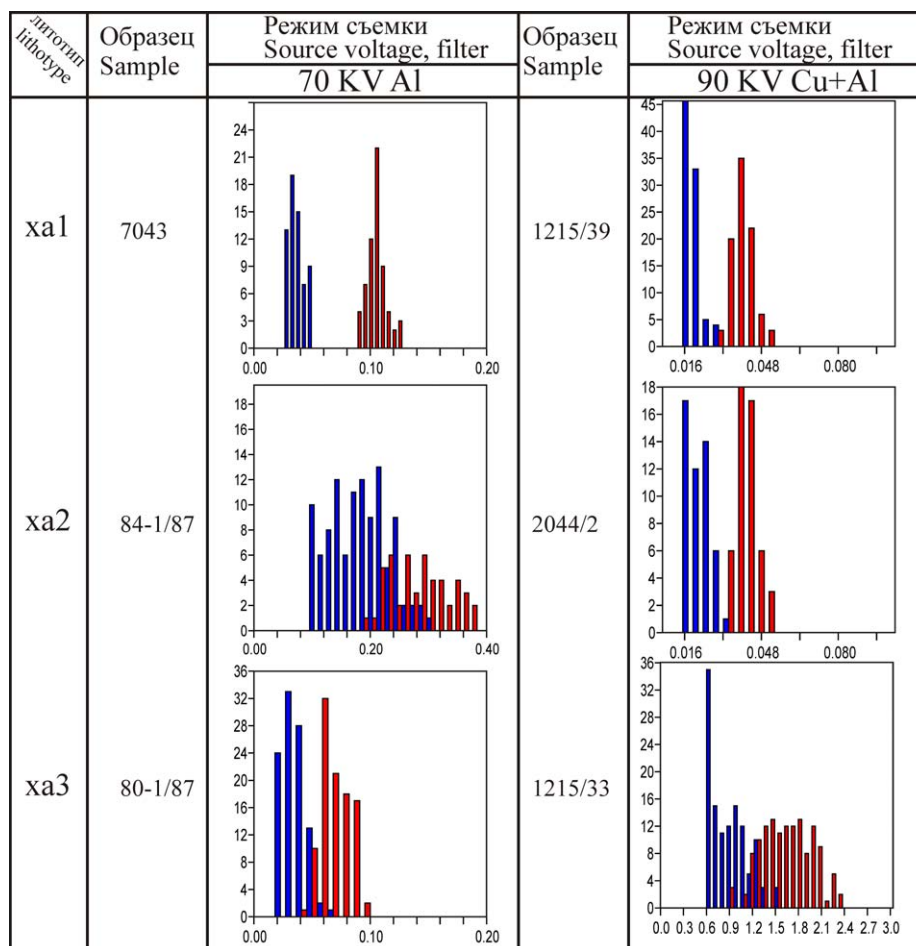


Fig. 1. Radiodensity of the conodont elements (in red) and the host rock (in blue) in different lithological types and source voltage compared. Radiodensity is in cm^{-1}

Рис. 1. Соотношение рентгеновских плотностей конодонтовых элементов (красная заливка на гистограммах) и вмещающей породы (синяя заливка на гистограммах) для различных литологических типов и ускоряющих напряжений. Значения рентгеновской плотности приведены в см^{-1}

Tectonically altered cherts and shales, containing fractured conodont elements (Fig. 6), represent appropriate objects for XMT study. For example, XMT study of the siliceous deposits of the lower part of the Silovayakha Fm. (D_3-C_1 sl) in the NE Pay-Khoy (Labsuyakha River, Amderma district) allows to spread biostratigraphical characteristics of this part of sequence, where traditional methods supplied just debris of conodont elements. The Pa-elements of *Palmatolepis gracilis* (Fig. 6), characteristic for the upper Famennian, were recognized in the tomogram. XMT was the only way to study conodonts in the clayey silicites of the Gromashor Fm. in the Kara River section (Pay-Khoy). The Pa-element of genus *Ancyrodella* was recognized in the tomogram (Fig. 6).

The tomography supplies interesting data about distribution of conodont elements in the clayey and cherty sediments. A high conodont abundance, observed in the cherty argillites, is probably caused by concentrating of the conodont elements on the bed planes corresponding to diastems. Uniform sedimentation rate of the silicites caused chaotic distribution of the conodont elements and less conodont abundance, especially in the radiolarian-rich sediments possessing high sedimentation rate.

XMT demonstrates some difficulties in practice. It is necessary to use a high spatial resolution ensuring visibility of con-

odont elements in tomograms. The high resolution leads to small size of the samples under processing. Optimal sample size is about 1 cm^3 , maximal 4 cm^3 . Additionally some lithological types with a high radiodensity (e. g. carbonates, limy silicites and argillites) are inapplicable for the conodont study with XMT due to low radiodensity contrast making conodonts invisible in tomograms (Fig. 1).

Conclusions

XMT can be used for search and identification of the conodont elements in the silicites and cherty argillites. Tomograms with high spatial resolution (5–7 mcm voxel size) provide possibility of the taxonomic diagnostics of conodonts. The cherty argillites and pure silicites are the most promising lithological types for XMT study. These lithotypes possess rather a high conodont abundance in association with high radiodensity contrast between the conodont elements and the host rock.

Acknowledgements. A. A. Shtyrlyayeva (NMSU «Gornyi») helped to take the tomograms. The investigations were partly supported by the project «Devonian deep-water domains as a key toward understanding biodiversity crises» (Silesian University, Poland).



XMT data on samples studied

Рентгенотомографические данные по образцам

Section Разрез	Sample Образец	Lithological type Литотип	Age Возраст	Volume (cm ³) Объем (см ³)	Total elements and debris Общее количество элементов и обломков	Abundance of conodont elements in the rock (specimen/cm ³) Содержание конодонтовых элементов (шт/куб.см)	Radiolarians content (%) Содержание радиолярий в породе (%)
Konstantinov Creek руч. Константинов	Tn-23/99	ха1	C ₁ t ₂	0.20	7	35.0	7
	Tn-27/99	ха1	C ₁ t ₂	4.09	10	2.9	7
Kozhym River р. Кожым	Tz-78-1	ха3	C ₁ t ₂	0.64	5	7.8	0
	80-1/87	ха3	C ₁ t ₂	1.41	51	36.2	1
	84-1/87	ха2	C ₁ t ₂	1.21	14	11.6	0
	1215/23	ха4	C ₁ t ₁	0.40	3	7.5	20
	1215/23	ха2	C ₁ t ₁	1.40	5	3.6	7
	1215/23	ха3	C ₁ t ₁	0.10	5	50.0	2
	1215/26	ха2	C ₁ t ₁	2.30	2	0.9	10
	1215/33-1	ха4	C ₁ t ₂	0.86	2	2.3	0
	1215/33-1	ха3	C ₁ t ₂	0.07	4	57.1	0
	1215/39	ха1	C ₁ t ₂	0.30	2	6.7	20
	76-1	ха3	C ₁ t ₁	0.03	16	484.8	0.3
Kharuta River р. Харута	32-11	ха1	C ₁ t ₁	0.30	1	3.30	1
	32-21	ха2	C ₁ t ₂	0.56	15	26.8	1
	32-18 (f1)	ха2	C ₁ t ₂	0.32	6	18.5	0
Peschanaya River р. Песчаная	2037/23(1)	ха2	C ₁ v ₂	0.48	0	0	0
Khardto Lake оз. Хардто	2044/2	ха2	D ₃ fm ₂	0.23	5	21.7	1
	2044/3	ха1	D ₃ fm ₃	0.35	5	14.3	7
Labsuyakha River р. Лабсуйяха	2048/5	ха4	D ₃ fm ₃	1.30	4	3.10	10
	2032/5	ха3	D ₃ f	0.35	6	17.1	0
	2032/1	ха2	D ₃ f	1.17	3	2.6	0
Taripatayakha River р. Тарипатаяха	6053-2	ха1	D ₁ em	0.30	4	13.3	2
	7043/1	ха1	C ₁ t	0.31	9	29.0	5
Kara River р. Кара	7388/1	ха3	D ₃ f	0.98	4	4.1	15
Moreizyakha River р. Морезьяха	2074/2	ха1	D ₂	0.84	0	0	10

References

1. Gerasimova A. I., Zhuravlev A. V., Zherlygin A. L. *Novyi metod polucheniya biostratigraficheskoi harakteristiki kremnistykh porod paleozoya* (New method to obtain biostratigraphic characteristics of the Paleozoic siliceous rocks). Proceedings of 3rd All-Russian conference "Prakticheskaya mikrotomografiya", St. Petersburg, 2014, pp. 66—68.
2. Gerasimova A. I., Zhuravlev A. V., Shtyrlyayeva A. A. *Mikrorentgenotomograficheskii metod izucheniya konodontov — dostizheniya i perspektivy* (Microradiotomographic methods for conodonts study — achievements and prospects). Proceedings

of LXI session of paleontological society. St. Petersburg, 2015, pp. 28—29.

3. Eremenko N. M., Zhuravlev A. V. *Litologo-geneticheskaya tipizatsiya srednepaleozoiskikh glubokovodnykh otlozhenii* (Lithological-genetical typization of the Middle Paleozoic deep water sediments). *Osadochnye basseiny, sedimentatsionnye i postsedimentatsionnye protsessy v geologicheskoi istorii*. Proceedings, Novosibirsk, 28—31 October 2013. *Ros. akad. nauk, Nauch. sovet po problemam litologii i osadochnykh poleznykh iskopayemykh pri ONZ; Sib. otd-nie, In-t neftegazovoi geologii i geofiziki im. A. A. Trofimuka*. Novosibirsk, 2013, V.3, pp. 290—294.

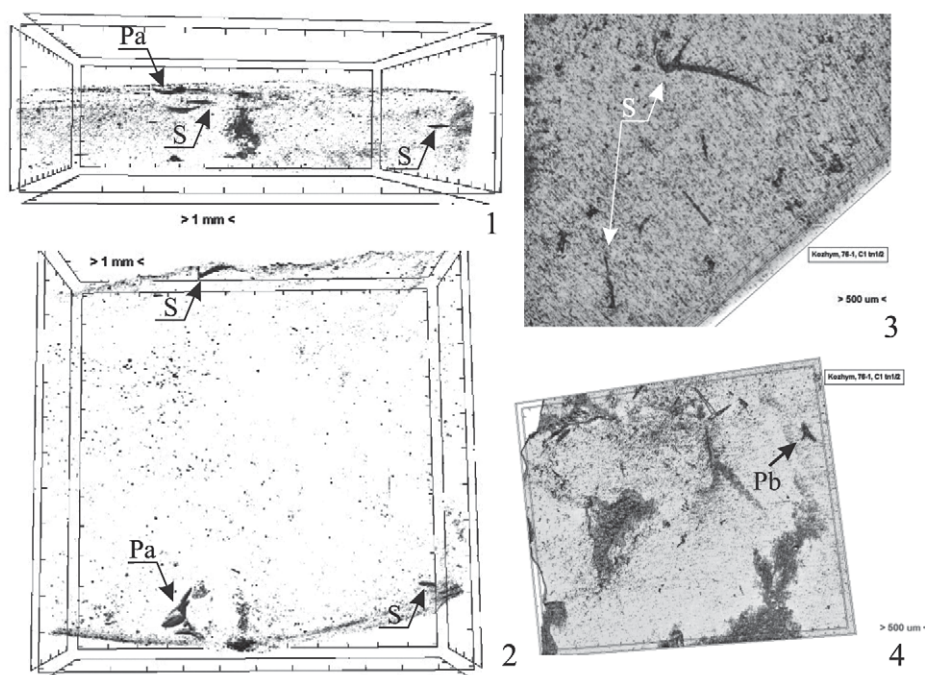


Fig. 2. Conodont elements in the tomograms of cherty argillite (lithological type xa3): 1, 2 — sample 80-1/87, the Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, *Siphonodella quadruplicata* Zone; 3, 4 — sample 76-1/87, the same locality and age

Рис. 2. Конодонтовые элементы на томограммах кремнистого аргиллита (литотип ха3): 1, 2 — обр. 80-1/87, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*; 3, 4 — обр. 76-1/87, местонахождение то же

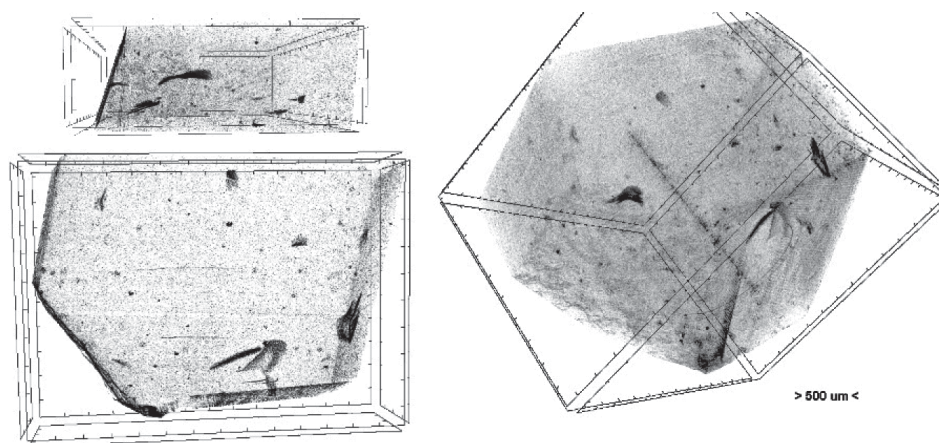


Fig. 3. Conodont elements in the tomograms of silicite (lithological type xa1), sample Tn-23, the Konstantinov Creek, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, *Siphonodella quadruplicata* Zone

Рис. 3. Конодонтовые элементы на томограммах силицита (литотип ха1), обр. Тн-23, руч. Константинов, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*

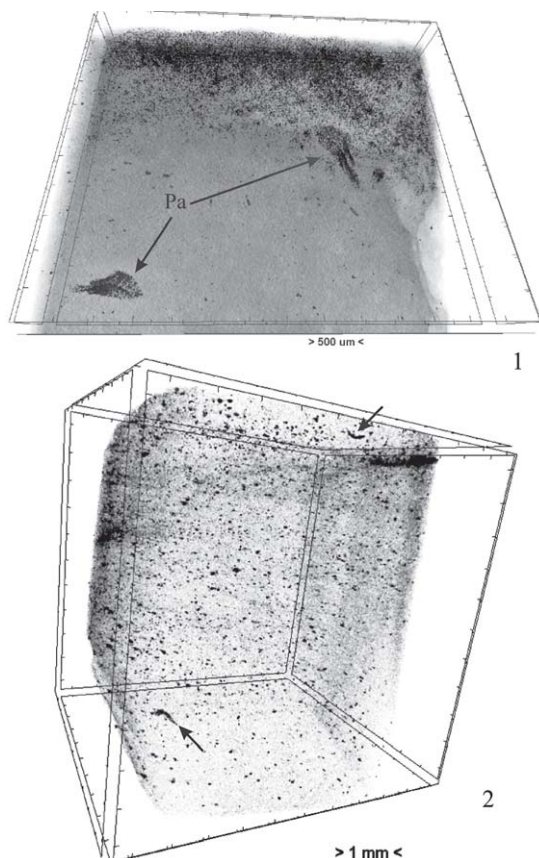


Fig. 4. Conodont elements in the tomograms of limy silicite (lithological type xa4): 1 — sample 1215-33, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, *Siphonodella quadruplicata* Zone; 2 — sample 2048/5, Labsuyakha River, Pay-Khoy, Famennian, expansa Zone

Рис. 4. Конодонтовые элементы на томограммах карбонатного силицита (литотип ха4): 1 — обр. 1215-33, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*; 2 — обр. 2048/5, р. Лабсуйяха, Пай-Хой, фаменский ярус, зона Expansa

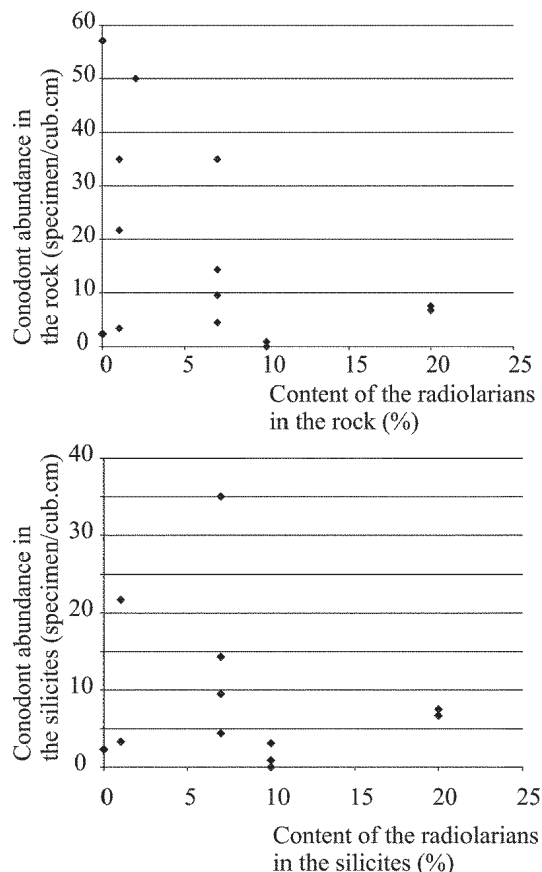


Fig. 5. Conodont element content *versus* content of radiolarians

Рис. 5. Зависимость содержания конодонтовых элементов в породе от содержания радиолярий

4. Zhuravlev A. V. *Metodika opredeleniya pozdnedevonsko-rannekamennougol'nykh konodontovykh elementov v shlifakh i anshlifakh* (Methods to determine the Late Devonian-Carboniferous conodont elements in thin and polished sections). *Paleontol. Journal*, 2002, No. 5, pp. 66—69.

5. Zhuravlev A. V. *Vozможности ispol'zovaniya kompyuternoi mikrotomografii dlya izucheniya konodontovykh elementov* (Possibilities of application of computed microtomography for study of conodont elements). *Litosfera*, 2013, No. 2, pp. 163—166.

6. Zhuravlev A. V. *Novye metody izucheniya glinisto-karbonatnykh i kremnisto-glinistyykh glubokovodnykh otlozhenii na primere verhnego devona-nizhnego karbona Timano-Pechorskoi NGP* (New methods of study of argillaceous-carbonate and siliceous-argillaceous sediments, the Upper Devonian-Lower Carboniferous of Timan-Pechora oil-gas province as example). *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii*. No. 9, 2012, pp. 4—10.

7. Zhuravlev A. V., Vevel Ya. A. *Vozможности ispol'zovaniya vychislitelnoi mikrotomografii v mikropaleontologicheskikh i litologicheskikh issledovaniyakh* (Possibilities of using computed microtomography in micropaleontological and lithological studies). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2012, V. 7, No. 2. http://www.ngtp.ru/rub/2/21_2012.pdf

8. Ivanov K. S. *Metody poiskov i vydeleniya konodontov* (Methods of search and determination of conodonts). Sverdlovsk, UB USSRAS, 1987, 118 pp.

9. Klenina L. N., Ovnatanova N. S. *Diagnostika konodontov v shlifakh* (Diagnostics of conodonts in thin sections). *Paleontological Journal*, 1987, No. 3, pp. 92—96.

10. Puchkov V. V. *Rekomendatsii po poiskam i obrabotke konodontov na poverhnostyakh sloistosti beskarbonatnykh porod* (Recommendations for search and processing of conodonts on bedding planes of non-carbonate rocks). *Konodony Urala i ih stratigraficheskoe znachenie*. Sverdlovsk, 1979, pp. 132—140.

11. Bošič, R. Zur Conodonten-Stratigraphie der Oberen Sanzenkogel Formation (Karbon, Grazer Paläozoicum). *Geologica et Palaeontologica*. 1999, 33, pp. 167—189.

12. Norby R. D. and Avcin M. J. Contact microradiography of conodont assemblages. Conodont investigative techniques and applications. 1987, pp.153—167.

13. Reichstein M. Parallelisierung eines Teiles des bishe- vigen Hauptquarzits vom Unterharz mit der Schichtfolge des Acker-Bruchberg Systems. *Geologie Zeitschrift*, 1961. 10(3), pp. 302—315.

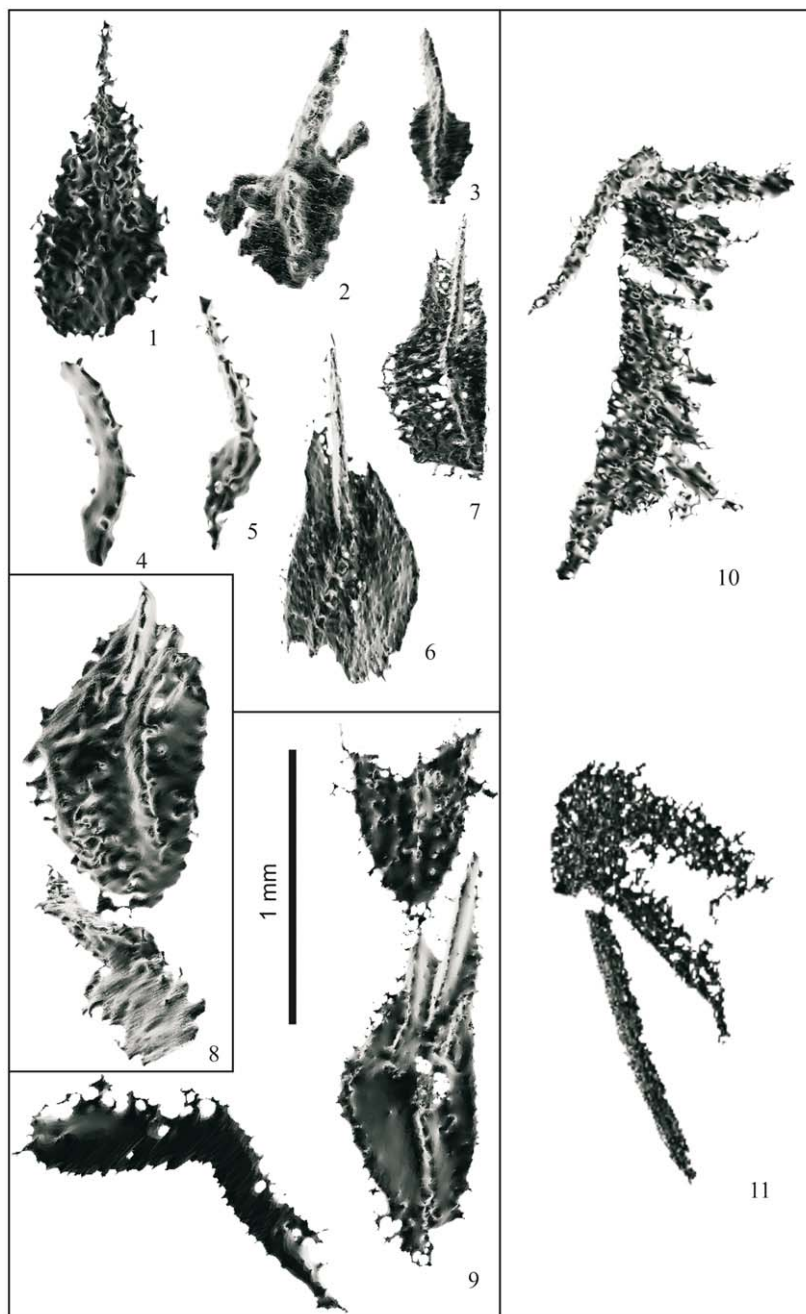


Fig. 6. Conodont elements from the clayey and siliceous rocks (tomographic images): 1 — *Siphonodella* cf. *hassi* Ji, sample 1215-33, lithological type xa3, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, Siphonodella quadruplicata Zone; 2 — *Ancyrodella* sp., sample 7388/1, lithological type xa3, Kara River, Pay-Khoy, Frasnian; 3 — *Polygnathus purus* Voges, sample 80-1/87, lithological type xa3, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, Siphonodella quadruplicata Zone; 4, 5 — *Palmatolepis gracilis* Branson et Mehl, sample 2048/5, lithological type xa4, Labsuyakha River, Pay-Khoy, Famennian, Expansa Zone; 6 — *Siphonodella* cf. *obsoleta* Hass, sample Tn-23, lithological type xa1, Konstantinov Creek, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, Siphonodella quadruplicata Zone; 7 — *Siphonodella crenulata* (Cooper), sample Tn-23, lithological type xa1, Konstantinov Creek, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, Siphonodella quadruplicata Zone; 8, 9 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl) surrounded by undiagnostic fragments of platform and ramiform elements, sample 80-1/87, lithological type xa3, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, Siphonodella quadruplicata Zone; 10 — fragmented S-element of *Palmatolepis*, sample 7388/1, Kara River, Pay-Khoy, Frasnian; 11 — fragmented M-element of *Siphonodella*, sample Tn-23, Konstantinov Creek, Kozhym River, Subpolar Urals, Tournaisian, Siphonodella quadruplicata Zone

Рис. 6. Конодонтовые элементы из кремнисто-глинистых пород, томографические изображения. 1 — *Siphonodella* cf. *hassi* Ji, обр. 1215-33, литотип ха3, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*; 2 — *Ancyrodella* sp., обр. 7388/1, литотип ха3, р. Кара, Пай-Хой, франский ярус; 3 — *Polygnathus purus* Voges, обр. 80-1/87, литотип ха3, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*; 4, 5 — *Palmatolepis gracilis* Branson et Mehl, обр. 2048/5, литотип ха4, р. Лабсуйяха, Пай-Хой, фаменский ярус, зона Expansa; 6 — *Siphonodella* cf. *obsoleta* Hass, обр. Tn-23, литотип ха1, руч. Константинов, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*; 7 — *Siphonodella crenulata* (Cooper), обр. Tn-23, литотип ха1, руч. Константинов, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*; 8, 9 — *Siphonodella quadruplicata* (Branson et Mehl) в окружении недиагностируемых фрагментов платформенных и рамиформных элементов, обр. 80-1/87, литотип ха3, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*; 10 — фрагментированный S-элемент *Palmatolepis*, обр. 7388/16 р. Кара, Пай-Хой, франский ярус; 11 — фрагментированный M-элемент *Siphonodella*, обр. Tn-23, руч. Константинов, р. Кожым, Приполярный Урал, турнейский ярус, зона *Siphonodella quadruplicata*



КАК НАЗЫВАТЬ КАРБОНАТСОДЕРЖАЩУЮ ПОРОДУ? (ИЗ ОПЫТА ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ)

Я. Э. Юдович, М. П. Кетрис

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
eyuy@ya.ru

На основании своего полувекового опыта авторы рекомендуют для работы с карбонатными и смешанными силикатно-карбонатными породами вместо нормативного пересчета вычислять по данным фазового «карбонатного» анализа только отношение MgO/CaO , позволяющее определить процент доломита в карбонатном веществе.

Ключевые слова: карбонатные породы, смешанные силикатно-карбонатные породы, мергели, конкрецииды, фазовый «карбонатный» анализ.

HOW TO DESIGNATE A CARBONATE-BEARING ROCK? (FROM THE PRACTICE EXPERIENCE)

Ya. E. Yudovich, M. P. Ketris

Institute of Geology of Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Based on their 50 years experience the authors recommend for practical work with carbonate and mixed carbonate-bearing rocks to calculate only MgO/CaO ratio determining percent of dolomite in the carbonate substance, using phase «carbonate» analysis, instead of normative recalculation.

Keywords: carbonate rocks, mixed silicate-carbonate rocks, marls, concrezoids, phase «carbonate» analysis.

В изданном в 1983 г. «Справочнике по литологии» [7], в главе 10 «Карбонатные известково-магнезиальные породы», имеется 4 параграфа, из которых первые три составлены В. И. Марченко. Из § 1 «Общая характеристика» можно узнать, что еще в 1967 г. Baisent Dieter (Марченко) даже не решился дать русскую транскрипцию этого Байсента) рассмотрел 36 (!) классификаций карбонатных пород; там же замечено, что «*общепринятой классификации еще нет*» [3, с. 131]. Можно не сомневаться, что самых разных (структурных, генетических, динамических, вещественных) классификаций карбонатных пород существует гораздо больше, чем 36, однако рассмотрение их совсем не входит в нашу задачу.

Цель этой заметки намного проще — поделиться нашим полувековым опытом простейшей классификации карбонатных и смешанных карбонатно-силикатных пород по их химическому составу, *поскольку такая вещественная классификация необходима просто для того, чтобы правильно назвать породу*.

Дело в том, что правильно назвать карбонатную, и тем более смешанную карбонатно-силикатную породу, — далеко не так легко, поскольку приходится в названии породы отразить состав и содержание обеих ее главных вещественных компонентов — и карбонатного, и силикатного. И хотя С. Г. Вишняков еще в 1933 г. предложил принимаемые большинством литологов градации доломитовости и «терригенности» карбонатных пород [1], воспро-

изведенные недавно в учебном пособии петербургских литологов [4], практически удобной процедуры, основанной на данных так называемого карбонатного анализа¹, как будто нет; возникают также и некоторые терминологические «заморочки».

1. Определение доломитовости карбонатного вещества. В ряду смесей «доломит — кальцит» (как и во многих других бинарных смесях) обычно проводят процентные границы по Вишнякову: 0–5–25–50–75–95–100. Например, чистая карбонатная порода, содержащая 67 % кальцита и 33 % минерала доломита, будет называться «известняк доломитовый», а такая же чистая порода, но содержащая только 12 % минерала доломита, будет называться «известняк доломитистый». Но как быть, если нам точно не известно содержание кальцита или минерала доломита в породе? Можно прибегнуть к весьма трудоемкой процедуре окрашивания, с последующим подсчетом в шлифе соотношения площадей фиолетовых (кальцитовых) и бесцветных (доломитовых). Разумеется, никакой литолог не станет заниматься этой неблагоприятной работой — он просто закажет в лаборатории дешевые карбонатные анализы. Но потом ему придется произвести нормативный пересчет анализов, чтобы вычислить содержания в породе кальцита и доломита. Однако нами еще много лет назад была предложена более простая процедура [9, с. 27].

Поскольку в нормальном карбонатном анализе выдаются процентные содержания в породе MgO и CaO ,

¹ Карбонатным называют фазовый анализ 1.89% HCl-вытяжки, выраженный в % на всю породу [9, с. 26].

можно вычислить отношение MgO/CaO при заранее заданном соотношении минералов кальцита и доломита (см. таблицу, 3 кол.) и тем самым решить обратную задачу: по величине MgO/CaO определять содержание в карбонатном веществе доломита и кальцита. Как видно в таблице, первые сверху три ячейки отвечают породе «известняк», а три ниже лежащие — породе «доломит».

Чтобы определить доломитовость карбонатного вещества графически, достаточно нанести значения MgO/CaO , соответствующие классификационным границам, на базу классификационного треугольника С. Г. Вишнякова [1] «Нерастворимый остаток кальцит — доломит» (см. рисунок).

2. Определение «силикатности» смешанной породы.

Чаще всего для смешанных силикатно-карбонатных пород геолог употребляет термин «терригенно-карбонатные», что неточно, поскольку некарбонатным веществом часто является не терригенный (глинистый, алевритовый или песчаный) материал, а аутигенный — кремнистый². И здесь для смесей «карбонатное вещество — силикатное вещество» большинство литологов использует те же градации содержания силикатного вещества, выражаемые процентом н.о. — кислотонерастворимого остатка: 0–5–25–50–75–95. Эти градации позволяют различать три укрупненные группы пород: собственно карбонатные породы (н.о. = 0–25 %, две градации), мергели (н.о. = 25–75 %, две градации) и карбонатно-силикатные породы (н.о. 75–95 %). Заметим, что в любой терригенной породе какая-то часть кислоторастворима, так что выход н.о. меньше 5 % практически встречается очень редко. Поэтому для низкокарбонатных пород лучше использовать не определенный анализом выход н.о., а расчетную величину: н.о., % = $[100 - (CaO + MgO + CO_2)]$.

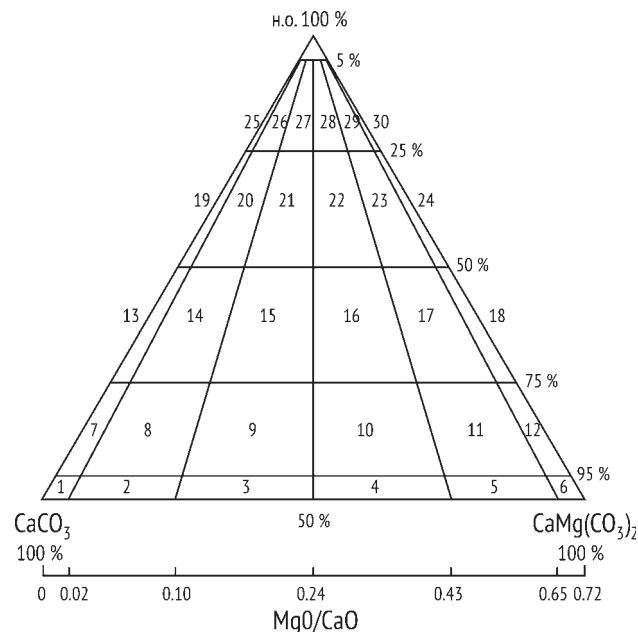
При определении смешанных пород литолога ожидает характерная «заморочка», связанная с мергелями. Дело в том, что традиционно мергелями принято называть только глинисто-карбонатные породы [7]. А как же называть другие смешанные силикатно-карбонатные породы, например алевритовые, песчаные или кремнистые? Дело в том, что не только существуют, но в нашем Тимано-Уральском регионе даже преобладают обломочные и детритовые (т.е. органогенно-обломочные) породы, бывшие некогда мелководными карбонатными осадками, образованными в шельфовой Елецкой зоне на краю Восточно-Европейской платформы [5] в условиях постоянного волнового взмучивания, когда глинистые частицы из осадка вымывались. В результате откладывались не пелитоморфные карбонаты с глинистой примесью (они формировались только в затишных депрессионных фациях), а карбонатные пески и алевриты, что было особенно ясно доказано А. И. Елисеевым [2]. Кроме того, в изобилии встречаются смешанные карбонатно-терригенные породы иного генезиса, например карбонатные песчаники, в которых обломочный материал терригенный, а карбонатный цемент — диагенетический [3, 4, 7].

Поэтому в своей практической работе многие геологи «явочным порядком» используют термин «мергель» в

более широком смысле, нежели только для обозначения пород глинисто-карбонатных. Например, известный сыктывкарский минералог В. И. Силаев уже очень давно использовал термины «псаммомергель» и «алевромергель» для обозначения смешанных терригенно-карбонатных пород, в которых терригенная часть представлена силикатными обломками песчаной или алевритовой размерности [6]. По этому образцу вполне правомерно назвать смешанную кремнисто-карбонатную породу с выходом н.о. 25–75 % кремнемергелем.

Чтобы определить «силикатность» смешанной породы графически, достаточно нанести значения выхода н.о. (%) на классификационный треугольник Вишнякова (см. рисунок).

3. Называние смешанной породы. Оно может быть произведено как таблично (см. таблицу), так и графически (см. рисунок), поскольку на рисунке повторены номера ячеек классификационной таблицы. Возьмем для примера такие широко распространенные смешанные породы, как конкрецииды, т.е. пласты по форме, но конкреции по составу [8]. Так, если мы имеем средний состав (по двум анализам сборных проб, составленных из 21 образца, р. Щугор) артинско-кунгурского конкрециода в виде (%): н.о. = 47.7, CO_2 = 18.73, CaO = 19.75, MgO = 2.49, MnO = 0.39, FeO = 2.70, R_2O_3 = 8.04 [9, с. 42], то получим значение MgO/CaO = 0.13. Следовательно, средний состав нижнепермских конкрециидов отвечает мергелю доломитово-известковому.



Треугольник состава карбонатных и карбонатсодержащих пород с использованием отношения MgO/CaO

Triangle of composition of carbonate and carbonate-bearing rocks using MgO/CaO ratio

² Правда, в этом случае можно придаться к термину «силикатный», поскольку кремнь (т.е. кварц) — оксид, а не силикат. Но такой придиркой можно пренебречь, потому что, как известно, кварц по структуре весьма близок к силикатам.



Классификация карбонатных и карбонатсодержащих пород* с использованием отношения MgO/CaO

Classification of carbonate and carbonate-bearing rocks using MgO/CaO ratio

Карбонатное вещество Carbonate substance			Карбонатные породы Carbonate rocks		Мергели Marls		Силикатные породы, карбонатсодержащие Silicate rocks, carbonate-bearing
Доломит, %	Кальцит, %	MgO/CaO	Н.о. = 0–5 %	Н.о. = 5–25 %	Н.о. = 25–50 %	Н.о. = 50–75 %	Н.о. = 75–95 %
100–95	0–5	0.72–0.65	6. Доломит	12. Доломит глинистый	18. Мергель доломитовый	24. Мергель глинистый, доломитовый	30. Глина доломитовая
95–75	5–25	0.65–0.43	5. Доломит известковистый	11. Доломит глинистый, известковистый	17. Мергель, известковисто-доломитовый	23. Мергель глинистый, известковисто-доломитовый	29. Глина, известковисто-доломитовая
75–50	25–50	0.43–0.24	4. Доломит известковый	10. Доломит глинистый, известковый	16. Мергель, известково-доломитовый	22. Мергель глинистый, известково-доломитовый	28. Глина, известково-доломитовая
50–25	50–75	0.24–0.10	3. Известняк доломитовый	9. Известняк глинистый, доломитовый	15. Мергель, доломитово-известковый	21. Мергель глинистый, доломитово-известковый	27. Глина, доломитово-известковая
25–5	75–95	0.10–0.02	2. Известняк доломитистый	8. Известняк глинистый, доломитистый	14. Мергель, доломитисто-известковый	20. Мергель глинистый, доломитисто-известковый	26. Глина, доломитисто-известковая
5–0	95–100	0.02–0.00	1. Известняк	7. Известняк глинистый	13. Мергель известковый	19. Мергель глинистый, известковый	25. Глина известковая

* Для других разновидностей пород вместо «глинистый» или «глина» следует использовать названия этих пород, например 22 — псаммо-мергель, известково-доломитовый; 23 — кремнемергель, известковисто-доломитовый или 27 — алевролит доломитово-известковый и т. д.

* For other rock varieties the names of these rocks should be used instead of «clayey» or «clay», e. g. 22 — psammo-marl, calcareous-dolomite; 23 — silica-marl, calcareous-dolomite; or 27 — dolomite-calcareous aleurolite etc.

4. Некоторые проблемы. Начинаящему литологу (да и вообще геологу) полезно иметь в виду некоторые проблемы «карбонатного анализа» смешанных пород. О них упомянуто в нашей монографии [9, с. 18]. Дело в том, что в горячую 1.89 % HCl-вытяжку могут перейти не только карбонаты, но отчасти и некоторые силикаты, такие как хлорит. Поэтому при анализе мергелей содержание в «карбонатном анализе» MgO и FeO будет систематически завышаться — и, соответственно, отношение MgO/CaO будет нам показывать завышенную доломитовость. Скорректировать эту ошибку можно по величине CO₂ — путем нормативного пересчета на карбонатные минералы CaCO₃, MgCO₃ и FeCO₃. Однако и величина CO₂ может определяться с занижением, если анализ проводили путем поглощения CO₂ щелочью с последующим оттитровыванием остатка непрореагировавшей щелочи. Поэтому здесь предпочтительнее иной способ определения CO₂.

Литература

1. Вишняков С. Г. Карбонатные породы и полевое исследование их пригодности для известкования почвы // Карбонатные породы Ленинградской области, Северного края и Карельской АССР. М.; Л., 1933. Вып. 2. С. 3–22.
2. Елисеев А. И. Формации зон ограничения Северного

Востока Европейской платформы (поздний девон и карбон). Л.: Наука, 1982. 192 с.

3. Марченко В. И. Карбонатные известково-магнезиальные породы // Справочник по литологии. М.: Недра, 1983. С. 129–131.

4. Платонов М. В., Тугарова М. А. Петрография обломочных и карбонатных пород: Учебно-методическое пособие. СПб., 2004. 72 с.

5. Пучков В. Н. Батинальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М.: Наука, 1969. 260 с.

6. Силаев В. И. Минералогия и литогенез ордовикских отложений Центрального Пай-Хоя. Л.: Наука, 1978. 88 с.

7. Справочник по литологии / Под ред. Н. Б. Вассоевича, В. Л. Либровича, Н. В. Логвиненко, В. И. Марченко. М.: Недра, 1983. 509 с.

8. Юдович Я. Э. Опыт новой вещественно-генетической классификации конкреций и конкрециодных пород // Литол. и полез. ископ. 1980. № 4. С. 110–123.

9. Юдович Я. Э. Региональная геохимия осадочных толщ. Л.: Наука, 1981. 276 с.

References

1. Vishnyakov S. G. *Karbonatnye porody i polevoe issledovanie ih prigodnosti dlya izvestkovaniya pochvy* (Carbonate rocks and field study of their applicability for soil liming).

Karbonatnye porody Leningradskoi oblasti, Severnogo kraya i Karelskoi ASSR. No. 2. Moscow, Leningrad, 1933, pp. 3—22.

2. Eliseev A. I. *Formatsii zon ogranicheniya Severo-Vostoka Evropeiskoi platformy (pozdnii devon i karbon)* (Formation of restriction zones of North-Eastern European platform (Late Devonian and Carboniferous). Leningrad, Nauka, 1982, 192 pp.

3. Marchenko V. I. *Karbonatnye izvestkovo-magnezialnye porody* (Carbonate calcareous-magnesium rocks). Spravochnik po litologii. Moscow, Nedra, 1983, pp.129—131.

4. Platonov M. V., Tugarova M. A. *Petrografiya oblomochnyh i karbonatnyh porod: Uchebno-metodich. Posobie* (Petrography of clastic and carbonate rocks: study guide). St. Petersburg, 2004, 72 pp.

5. Puchkov V. N. *Batialnye komplekсы passivnykh okrain geosinklinalnykh oblastei* (Batial complexes of passive margins of geosyncline areas). Moscow, Nauka, 1969, 260 pp.

6. Silaev V. I. *Mineralogiya i litogenez ordovikskikh otlozhenii Tsentralnogo Pai-Hoya* (Mineralogy and lithogenesis of Ordovician Pay-Khoy). Leningrad, Nauka, 1978, 88 pp

7. *Spravochnik po litologii* (Study book on lithology). Eds. N. B. Vassoevich, V. L. Librovič, N. V. Logvinenko, V. I. Marchenko. Moscow, Nedra, 1983, 509 pp.

8. Yudovich Ya. E. *Opyt novoi veschestvenno-geneticheskoi klassifikatsii konkretov i konkretoidnykh porod* (New material genetic classification of concretions and concretoid rocks) Litol. i olez. iskop, 1980, No. 4, pp. 110—123.

9. Yudovich Ya. E. *Regionalnaya geokhimiya osadochnykh tolsch* (Regional geochemistry of sedimentary strata). Leningrad, Nauka, 1981, 276 pp.

Хроника, события, факты • Chronicle, events, facts



31 марта 2016 г. состоялась презентация портрета академика Н. П. Юшкина в Президиуме Коми научно-го центра УрО РАН по адресу: ул. Коммунистическая, д. 24.

March 31 Ceremony of unveiling of Academician N. P. Yushkin's portrait in the Presidium of Komi Science center of UB RAS at address: 24, Kommunisticheskaya st.

ХРОНИКА

1 марта состоялась годовичная сессия Института геологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

12 марта — 70-летний юбилей А. И. Антошкиной, главного научного сотрудника лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций

14 марта Геологический музей им. А. А. Чернова посетили Ву Тхи Лоан и Чан Тхи Ньяй — научные сотрудники Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технического центра (Ханой)

16 марта — 60-летний юбилей А. И. Казаковой, бухгалтера 2 категории ФЭО

22 марта в конференц-зале Института геологии состоялось рабочее совещание по подготовке предложений по формированию объектов геолого-разведочных работ за счет средств федерального бюджета и объектов для предоставления в пользование в целях геологического изучения за счет средств недропользователей на среднесрочную перспективу в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции

25 марта в зале ученого совета Института геологии состоялось пятое заседание Коми отделения Русского географического общества

26 марта — 50-летний юбилей С. В. Матвиенко, сотрудника лаборатории технологии минерального сырья

31 марта состоялась презентация портрета академика Н. П. Юшкина в Президиуме Коми научного центра УрО РАН

Chronicle

March 1 — Annual Session of the Institute of geology of the Komi Science center of Ural Branch of Russian Academy of Sciences

March 12 — The 70th Anniversary of A. I. Antoshkina, chief researcher of Laboratory of lithology and geochemistry of sedimentary formations

March 14 Our Geological museum named after A. A. Chernov was visited by Vu Thi Loan and Chiang Thi Nyay scientists from the Russian-Vietnamese Tropical Scientific Research and Technology Center (Hanoi)

March 16 — The 60th Anniversary of A. I. Kazakova, accountant

March 22 Workshop on proposals for the formation of geological exploration objects at the expense of the federal budget and objects for use for the purpose of geological study at the expense of subsoil users at medium term in the Timan-Pechora oil and gas province

March 25 The Fifth meeting of the Komi Branch of the Russian Geographical Society was held

March 26 — The 50th Anniversary of S. V. Matvienko, researcher of Laboratory of Mineral Raw technology

March 31 — Ceremony of unveiling of Academician N. P. Yushkin's portrait in the Presidium of Komi Science center of UB RAS



We present brief results of A. A. Soboleva and O. V. Udoratina's scientific trip to Stanford University, USA.

ОТ УРАЛА ДО ХРЕБТОВ КАЛИФОРНИИ

Приведены краткие результаты научной командировки А. А. Соболевой и О. В. Удоратиной в Стэнфордский университет (США).

Работы проводились в Центре микроанализа, принадлежащем Стэнфордскому университету и Геологической службе США (SUMAC) в Стэнфорде, и включали: изготовление эпоксидных шашек, получение изображений цирконов в отраженном свете и катодных лучах, изучение этих изображений и выбор зерен и участков для проведения изотопного датирования, U-Pb-датирование цирконов и попутное определение в них содержаний элементов-примесей методом SIMS на SHRIMP-RG. Исследования являлись частью продолжающегося изучения магматических пород фундамента Печорской плиты, северной части Урала и Северного Тимана, проводимого в ИГ Коми НЦ УрО РАН в рамках неформального научного сотрудничества со Стэнфордским университетом.

Данный материал будет основой для последующих публикаций. В одном из следующих номеров *Вестника* читатели смогут более подробно ознакомиться с нашей полевой экскурсией.

During our last trip to Stanford University in March 2016 we studied and dated zircons from magmatic rocks of Northern Timan (Maly Kameshek, Bolshoy Kameshek, Krayniy Kameshek, Sopki Kamennye massifs), basement of Pechora plate (1-Izkos-Gora and 1-Sosyanskaya boreholes), Polar Urals (Gerdyzsky massif), Subpolar Urals (Lapchavozhsky, Nikolayshorsky, Kozhimsky massifs), Northern Urals (Manhambovsky massif). Within the framework of joint researches with the KSC RAS (Apatity) and Geological Institute SB RAS (Ulan-Ude) we dated ancient gabbro-anorthosites and plagiogranitoids of Kola Peninsula, leucogranites and amazonite granites of East Transbaikalia.

The works were carried out in the US Geological Survey Stanford University Microanalysis Center (SUMAC) in Stanford and included: production of epoxy sticks, imaging of zircons in reflected light and cathode rays, study of these images and selection of grains and areas for isotopic dating, U-Pb dating of zircons and simultaneous determining of the content of trace elements by SIMS on SHRIMP-RG. The studies were a part of the ongoing study of magmatic basement rocks of Pechora plate, the northern part of the Urals and Northern Timan held in the Institute of geology, Komi Science Centre UB RAS, within the framework of the informal scientific collaboration with Stanford University.

The dating resulted in Late Riphean, bounding with Vendian, age of the syenites from Maly Kameshek and Krayniy Kameshek

massifs and granites from Bolshoy Kameshek massif. The granites from Sopki Kamennye massif were older, Late Riphean, which was rather an unexpected and new result that allowed us speaking about the Late Riphean magmatism staging in the Northern Timan.



Стэнфордский университет, Калифорния
Stanford University, California

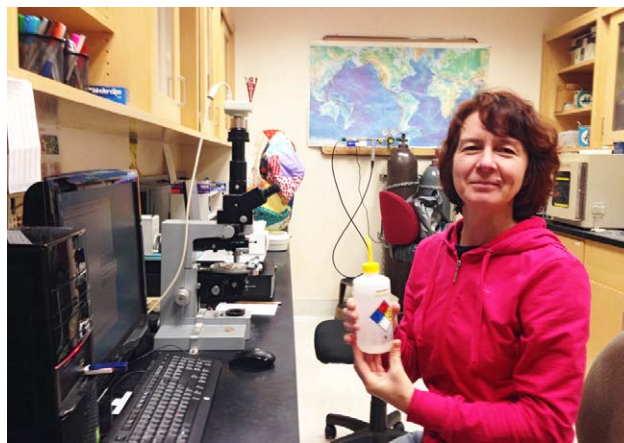
* Хребты и бассейны: вид на Долину Смерти с хребта Блэк-Маунтинс с высоты 1670 м. Высохшее соляное озеро внизу — это самая низкая точка Северной Америки, расположенная на 86 м ниже уровня моря.

Ranges and basins: view of Death Valley from the Black Mountains Range from height 1670 m. Extinct salt lake downward is the lowest point of the North America, 86 m below sea level.



О. В. Удоратина «внутри» SHRIMP-RG

O. V. Udoratina «inside» SHRIMP-RG



А. А. Соболева за подготовкой препаратов

A. A. Soboleva is preparing specimens

The granites from 1-Izkos-Gora borehole, drilled in the Izhma zone of basement of Pechora plate, obtained a reliable Late Vendian zircon dating consistent with previously established age of orogenic granites of timanides. However we did not receive satisfactory age for the granites from 1-Sosyanskaya borehole, because these granites seemed to be S-type granites, and almost all zircons were old, heteroaged and inherited from the granite-forming sedimentary substrate. The performed tests showed that a different approach should be applied to study zircons from the S-type granite we should date a much larger number of grains (by LA-ICP-MS) and consider the age distributions.

The works on the dating of multiphase Lapchavozhsky massif were completed. We dated the most basic phase of the massif - quartz diorite-porphyrates, and the most acidic phase - granites. The datings correlated with the age determined earlier for the zircons from the granodiorite of main phase of massif and from marginal comagmatic andesidacites. Thus, now it is possible to reconstruct the history of formation of this volcano-plutonic system and to be confident that the time of its formation corresponded to the main stage of the granite formation of timanides of Pechora plate basement.

The determination of Early Vendian age of the zircons from granites of the southern part of Gerdyzky massif testified to that the composition of the massif, in addition to previously established Late Cambrian granitoids in the northern part of the massif, included older formations as well. The conducted dating confirmed the observed differences in the mineral and chemical composition of granitoid massif.

Two time fences of granite formation were set for the granites from Kozhimsky massif as well. We determined the Late Cambrian age of zircons from composing granites, while our precursors received Early Vendian dating (Pystin, Pystina, 2011).

The results of dating of zircons from the granite-gneisses of Nikolayshorsky massif of the central part of Nyartinsky block well correlated with the known data about their Late Riphean age (Pystin, Pystina 2011), but the detailed studies of the age and composition of the zircons revealed also Early Cambrian stage in the history of the massif and estimated its crystallization temperature.

We also found heteroaged granitoids in the Mankhambo massif. The bulk of the granitoids of the largest massif in the north of the Urals formed during the Early Cambrian period (Udoratina et al., 2006, Udoratina, Andreichev 2013). But the high-uranium zircons from alaskites (with syngenetic fergusonite and fluorite), located in the northeastern part of the massif, revealed the Early Carboniferous age. The received data raise the question about

possible presence of Late Paleozoic collision magmatism in the Northern Urals.

We confirmed Proterozoic and Archean ages of the ancient rocks of the Kola Peninsula, magmatic formations of the Eastern Transbaikalia, formed in the Late Jurassic time; we determined that leucogranites from Kurunzulaysky massif (shakhtaminsky complex) is older than the amazonite granites from Turginsky massif (kukulbeysky complex).

During last week of the trip, at the invitation of Stanford University Professor E. Miller, we took part in an interesting geological excursion in the Basin and Range Province to get acquainted with the geology of this unique province, where the general stretching was accompanied by tilting of giant continental blocks, and the abyssal zonal-metamorphic rocks, composing so-called metamorphic core of Cordilleran type, separated by the detachment surface from non-metamorphosed upper plates, were exposed.

This material will form the basis for future publications. In one of the next issues of Vestnik the readers will learn more about our field trip.

The trip and researches were possible because of partial support of UB RAS projects 15-18-5-57 (K. V. Kulikova), 15-18-5-40 (V. L. Andreichev), 15-18-5-46 (S. K. Kuznetsov), and also the RAS Presidium Program No. 45 (A. M. Askhabov).

References

Pystin A. M., Pystina Yu. I., *Novye dannye o vozraste granitoidov Pripolyarnogo Urala v svyazi s problemoi vydeleniya Kozhimskoi srednerifeiskoi granit-riolitovoi formatsii* (New data about the age of granitoids of Subpolar Urals in connection with the problem of determination of Middle Riphean Kozhim granite-rhyolite formation). *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UB RAS*, 2011. Vol. 4 (8), pp. 73—78.

Udoratina O. V., Sobolev A. A., Kuzenkov N. A., Rodionov N. V., Presnyakov S. L. *Vozrast granitoidov massivov Manhambovskogo i Ilyazhskogo massivov (Severnyi Ural): U-Pb dannye* (Age of granitoid massifs of Manhambovsky and Ilyazhsky massifs (Northern Urals): U-Pb data). *FAS* 2006, V. 406, No. 6, pp. 810—815.

Udoratina O. V., Andreichev V. L. *Granitoidy Manhambovskogo bloka (Severnyi Ural): U-Pb dannye* (Granitoids of Manhambovsky block (Northern Urals): U-Pb data). In: *Granitoidy — usloviya formirovaniya i rudonosnost* (Granitoids - formation conditions and ore content). Proceedings of scientific-practical conference. Kiev, 2013, pp. 136—137.

A. Soboleva, O. Udoratina

АКАДЕМИЧЕСКАЯ ЛЫЖНЯ И АКАДЕМИАДА-2016

Подходящий к завершению очередной зимний сезон по доброй традиции ознаменовался двумя основными для работников Коми научного центра соревнованиями по лыжным гонкам — Академической лыжней и Академиадой, приуроченными ко Дню науки.

ACADEMIC SKI-RUN AND ACADEMIADA-2016

Declining winter season was traditionally marked by two ski competitions, important for Komi Science center team, — Academic ski-run and Academiada, on the occasion of the Day of Science.

12 февраля на лыжной базе «Спортивная» в Сыктывкаре прошло лично-командное первенство Коми НЦ «Академическая лыжня — 2016», приуроченное ко Дню науки. В этом году мероприятие отметило маленький юбилей — 5 лет. Из года в год оно пользуется неизменным успехом у сотрудников Коми НЦ, привлекая в свои ряды всё новых и новых участников всех возрастов, должностей, ученых степеней и званий. Вот и в этот раз, несмотря на эпидемию гриппа, на соревнования заявились более ста человек. В итоге стартовали и успешно финишировали 97 участников. Согласно положению, к соревнованиям допускались и родственники сотрудников, таким образом, самой юной спортсменкой стала 8-летняя Карина Вахнина, а самым старшим участником — 80-летний Николай Алексеевич Манов. Погода во время соревнований способствовала хорошему

ван автобус. Судейская бригада справилась со своей работой на отлично, чётко фиксируя время старта и финиша участников; для предупреждения возможных недочетов и противоречий работала видеофиксация результатов. Был организован сладкий стол, после финиша можно было восстановить силы горячим чаем с выпечкой и конфетами и поделиться впечатлениями со своими коллегами. Основным организатором Академической лыжни является профсоюзный комитет Коми научного центра во главе с его председателем Н. Н. Тараненко. Активное участие в организации принял Совет молодых ученых Коми НЦ во главе с П. С. Кривошапкиным. Слаженную работу судейской бригады возглавлял В. В. Удоротин. Работу по подготовке стартовых протоколов и обработке результатов соревнований провел Д. О. Машин. А. В. Ильчуков пожертвовал выгод-



Представители команды Института геологии, Академическая лыжня — 2016

Representatives of team of Institute of Geology, Academic ski-run — 2016

скольжению, благодаря чему многие участники обновили свои личные рекорды. Несмотря на глубоко любительский статус соревнований, азарта и спортивной борьбы было на лыжне предостаточно. Стартовый протокол составлялся по результатам прошлогодних соревнований, благодаря чему близкие по уровню подготовки участники уходили на дистанцию за своими соперниками.

В этом году многолетний лидер командного зачета, команда Института геологии, уступил переходящий кубок Академической лыжни команде Института химии. Организация соревнований была на хорошем уровне, была проделана большая подготовительная работа. Для тех, у кого нет личного транспорта, к месту соревнований был организо-

ван стартовой позицией, чтобы сделать замечательный фоторепортаж с соревнований. Работники лыжной базы «Спортивная» подготовили хорошую трассу и помогли оборудовать места старта и финиша.

По результатам Академической лыжни была сформирована команда для участия в Академиаде — Всероссийских соревнованиях по лыжным гонкам среди сотрудников учреждений Федерального агентства научных организаций, проводимых совместно Российской академией наук, профсоюзом работников РАН и их региональными отделениями. Десятая, юбилейная, Академиада РАН проходила с 12 по 16 марта в г. Уфе. Команда Коми НЦ была представлена пятью участниками: К. В. Куликовой, А. Ф.



Литвиненко, Д. О. Машиным (Институт геологии), Е. Н. Зайнуллиной, М. С. Королёвой (Институт химии). Соревнования проходили в современном, комфортабельном спортивно-оздоровительном комплексе «Биатлон».

Спортивная программа Академиады традиционно состоит из гонки классическим стилем с раздельным стартом, гонки свободным стилем и смешанной эстафеты. По результатам первого дня соревнований золотые медали команде принесли М. С. Королёва и К. В. Куликова, серебряные — Е. Н. Зайнуллина и А. Ф. Литвиненко, бронзовую — Д. О. Машин. В гонке свободным стилем золотые медали команде принесли К. В. Куликова, Д. О. Машин, серебряные — А. Ф. Литвиненко, Е. Н. Зайнуллина, М. С. Королёва. Награждение участников второго дня соревнований проводил трехкратный чемпион мира по биатлону, призер Олимпийских игр Максим Чудов. В эстафетной гонке команде удалось занять четвертое место. Активно болел и поддерживал команду Коми НЦ призёр Академиады-2012 С. С. Клименко. Таким образом, второй год подряд команда Коми НЦ останавливается в одном шаге от подиума Академиады, занимая по итогам всех соревновательных дисциплин четвертое место из тринадцати возможных. В этом году на Академиаде произошло знаменательное событие: впервые в новейшей истории победу одержала команда из европейской части страны — команда Москвы. В предыдущие годы побеждали команды из Сибири.

Вся команда Коми научного центра благодарит организаторов Академиады-2016 — Уфимский научный центр



Команда Коми НЦ и С. С. Клименко, Академиада-2016

Team of Komi SC and S. S. Klimenko, Academiada-2016

и профсоюзные комитеты всех уровней — за то, что в непростые времена они смогли достойно организовать и провести такое мероприятие, как Академиада.

Ознакомиться с протоколами Академиады и Академической лыжни можно на официальном сайте Академиады: www.inp.nsk.su/tradeunion/activity/sport/Academiada/index.ru.shtml и сайте «Спорт в Коми НЦ» www.sites.google.com/site/komiscsport/.

Д. Ефимов, Д. Машин

В ЗЕРКАЛЕ ПРЕССЫ

Представлен обзор прессы, в которой публиковались события и факты в деятельности Института геологии в феврале 2016 г.

MEDIA MIRROR

We represent the press review reflecting events and facts of activity of Institute of geology in February 2016.

8 февраля (28 января по старому стилю) 1724 года указом правительствующего Сената по распоряжению Петра I в России была основана Академия наук. Поздравляя коллег, ученых, педагогов, аспирантов, студентов, председатель Коми НЦ УрО РАН академик А. М. Асхабов подчеркнул, что Коми НЦ, который в 2014 году отметил свое 70-летие, внес большой вклад в научное, культурное и социально-экономическое развитие Республики Коми. Он стал настоящим национальным достоянием РК. Наши ученые готовы и дальше работать на благо республики, на процветание российской науки (Регион. 31 января 2016 г.).

В наш профессиональный праздник — День геолога — нельзя не отметить вклад фронтовиков в развитие геологической науки Коми. Достойны памяти геологи, которые пришли в науку с фронтов Великой Отечественной войны и работали в институте до последних дней своей жизни. Это Борис Исаакович Гуслицер (1922—1989), Василий Иванович Есев (1922—1994), Павел Дмитриевич Калинин (1905—1983), Виталий Николаевич Охотников (1921—1997), Л. П. Павлов (1924—2001), Марк Вениаминович Фишман (1919—2003) Кирилл Паскальевич Янулов



(1920—2004). Они прожили достойную жизнь и оставили о себе прекрасную память (Регион. № 3. 2016).

На годичном заседании Ученого совета ИГ Коми НЦ УрО РАН председатель Президиума Коми НЦ академик А. М. Асхабов отметил, что в перспективе «создание регионального научного центра наиболее приемлемо для коллектива, так как объединение и присоединение к иной структуре будет требовать увольнения людей и ликвидации прежнего учреждения... По его словам, объединение институтов в одну структуру — вопрос решенный. Сейчас обсуждается то, в какой форме оно будет происходить». (КомиОнлайн. URL: <http://komionline.ru> 04.03.2016).

Национальный парк «Югыд ва» — самая обширная охраняемая зона в Европе, в последнее время часто упоминается в средствах массовой информации в контексте спора по поводу промышленной разработки месторождения «Чудное» между промышленниками с одной стороны и «зелеными» с другой. СМИ на протяжении 20 лет следят за этим конфликтом, отражая преимущественно точку зрения «зеленых». Газета «Республика» 3 марта 2016 г. представила трибуну промышленному сообществу в лице министра промышленности Н. Герасимова, зам. директора ИГ Коми НЦ

УрО РАН И. Бурцева, начальника отдела геологии и лицензирования Департамента по недропользованию РК М. Тарбаева, экс-министра природных ресурсов и охраны окружающей среды РК А. Боровинских. В развернутой дискуссии по вопросам экологии и экономики пришли к согласию закрыть проблему с нацпарком «Югыд ва» путем принятия взвешенного решения, отвечающего интересам устойчивого развития региона (Республика. 3 марта 2016 г.).

1 января 70-летие отметил д. г.-м. н. В. А. Петровский. Одним из первых в СССР он внедрил в практику кристаллогенетических исследований голографические методы. Впервые в мире им проведены модельные эксперименты с визуализацией происходящих процессов и прямым наблюдением протекающих явлений в ходе самого эксперимента в широком интервале термодинамических параметров. Желаем юбиляру дальнейших творческих успехов, новых научных достижений, здоровья, счастья и благополучия.

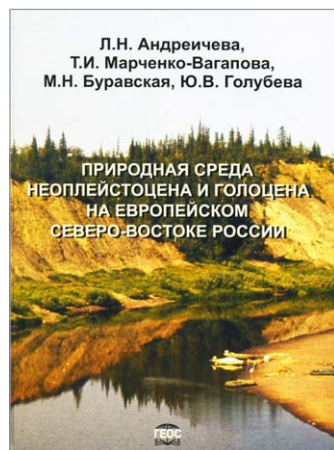
(Наука Урала. Февраль 2016 г. № 2—3).

Заслуживают внимание наукометрические показатели ведущих ученых Урала в науках о Земле. Среди 53 ведущих специалистов в науках о Земле отмечены и наши геологи: А. М. Асхабов (индивидуальные публикации — 81; цитирование — 263); В. Л. Андреичев (42 и 457 соответственно), А. И. Антошкина (62 и 426); В. Н. Пучков (276 и 4581); Я. Э. Юдович (160 и 2324), Н. П. Юшкин (137 и 834). Абсолютным лидером оказался В. Н. Пучков, вторым по этой статистике является Я. Э. Юдович (Уральский геологический журнал. 2015. № 6. (108)).

Ко Дню российской науки (8 февраля) Коми НЦ в течение недели проводил бесплатные экскурсии по ведущим институтам и музеям. Экскурсии прошли также в Институте геологии и Музее им. А. А. Чернова (Наука Урала. Январь 2016 г. № 1).

Е. Калинин

ПРЕЗЕНТАЦИЯ НОВЫХ ИЗДАНИЙ • NEW PUBLICATIONS



УДК 551.583.7:551.79(985)

Андреичева Л.Н., Марченко-Вагапова Т.И., Буравская М.Н., Голубева Ю.В. **Природная среда неоплейстоцена и голоцена на Европейском Северо-Востоке России.** ГЕОС, 2015. 224 с.
andreicheva@geo.komisc.ru

Обобщены результаты 40-летних детальных исследований разных генетических типов отложений неоплейстоцена на Северо-Востоке Евро-

пейской России. Исследованы спорово-пыльцевые спектры межледниковых четвертичных отложений из скважин и береговых обнажений, вещественный состав тиллов и микрофауна из перигляциальных осадков. Это позволило провести стратиграфическое расчленение разрезов неоплейстоцена и голоцена и воссоздать природно-климатические условия формирования межледниковых отложений. В разрезе квартала на территории исследований выделены шесть циклов осадконакопления. Сделан вывод о тенденции к похолоданию климата на Европейском Северо-Востоке России.

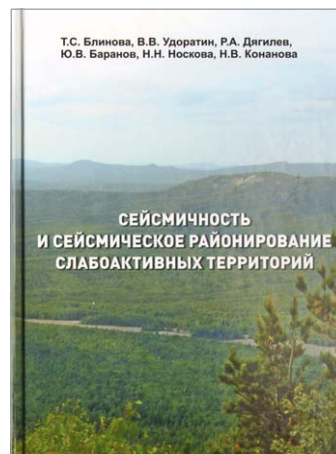
Andreicheva L.N., Marchenko-Vagapova T.I., Buravskaya M.N., Golubeva Yu.V. **The natural environment during the Neopleistocene and Holocene of European northeastern Russia.** GEOS Press, 2015. 224 p.

Here we present the summarized results of 40 years detailed researches of the Neopleistocene deposits of different genetic types in the north-east of European Russia. We studied the spore-pollen spectra of interglacial Quaternary sediments from boreholes and river sections, the material composition of tills and microtheriofauna from periglacial sediments. This allowed us to carry out stratigraphic division of the Neopleistocene and Holocene sections and recreate the climatic conditions for formation

of interglacial deposits. Six sedimentary cycles have been determined in the Quaternary section of the research territory. It is concluded that now there is a trend towards climate cooling in the European north-east of Russia.

УДК 550.31+ 550.34+ 55
(084.3)+502.58.001.18
ББК 26.21

Сейсмичность и сейсмическое районирование слабоактивных территорий / Т. С. Блинова, В. В. Удоратин, Р. А. Дягилев, Ю. В. Баранов, Н. Н. Носкова Н. В. Конанова. Пермь: ГИ УрО РАН, 2015. 178 с.
ISBN 978-5-7691-2413-6.
vvudoratin@geo.komisc.ru



В монографии рассмотрена методика сейсмического районирования для слабоактивных территорий, разработанная на примере Западно-Уральского региона. Методика основана на прогнозировании геодинамически неустойчивых зон с использованием геолого-геофизических данных и определение сейсмического потенциала регионов. Для Тимано-Североуральского региона, Западно-Сибирской плиты и территории Соединённого Королевства Великобритании и Северной Ирландии усовершенствован прогноз геодинамически неустойчивых зон. С применением ГИС-технологий для этих же регионов получены модели геодинамически неустойчивых зон и построены прогнозные карты максимальных магнитуд возможных землетрясений. Сделан вывод о возможности использования данной методики не только на исследуемой территории Западной и Восточной Европы, Урала, Западной Сибири, но и для любых слабоактивных регионов мира. Проведены исследования по выделению зон возможных очагов землетрясений с помощью сете-

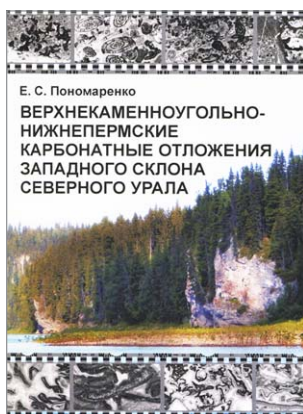
вой ГИС «ГеоПроцессор 2.0» для восточной окраины Восточно-Европейской платформы.

Seismicity and seismic zoning of seismically quiet areas / T. S. Blinova, V. V. Udoratin, R. A. Dyagilev, Yu. V. Baranov, N. N. Noskova, N. V. Konanova. Perm: GI UB RAS, 2015. 178 pp. ISBN 978-5-7691-2413-6.

The monograph reviews methods of seismic zoning for seismically quiet areas, which are developed on the example of the Western Ural region. The methods are based on prediction of geodynamically unstable zones using geological and geophysical data and can determine seismic potential of regions. We improved prediction of geodynamically unstable zones for Timan-Northern Ural region, Western Siberian Plate and territory of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland. We produced geodynamic models of unstable areas and built prediction maps of maximum magnitudes of possible earthquakes with GIS technology for these regions. We made a conclusion about possible application of these methods not only for the studied area of Western and Eastern Europe, the Urals, Western Siberia, but for any seismically quiet region of the world. We conducted researches to find areas of possible sources of earthquakes with the help of network-based GIS GeoProcessor 2.0 for the eastern margin of the East European platform.

УДК [552.58+551.351+550.7]:
551.735.2+551.736.1 (234.851)

Пономаренко Е. С. **Верхнекаменноугольно-нижнепермские карбонатные отложения западного склона Северного Урала**. Сыктывкар: Геопринт, 2015. 177 с.
esponomarenko@geo.komisc.ru



На основании новых данных по стратиграфии и литологии обосновано детальное расчленение верхнекаменноугольных и нижнепермских карбонатных отложений западного склона Северного Урала. Выявлены строение и характер цикличности этих отложений, выделены основные генетические типы, парагенетические ассоциации и их палеогеографическая приуроченность. История осадкообразования на восточной окраине карбонатной платформы в изученном регионе подразделена на два крупных этапа: касимовско-среднегжельский и позднегжельско-сакмарский, что обусловлено структурной перестройкой региона во время Уральского орогенеза. Среди рифогенных образований установлено два генетических типа нижнепермских органогенных построек: скелетные и иловые холмы.

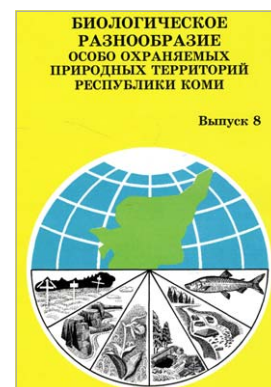
Ponomarenko E. S. **Upper Carboniferous-Lower Permian carbonate deposits on western slope of the Northern Urals**. Syktivkar: Geoprint, 2015. 177 p.

New paleontologic and lithologic data were used for detail stratigraphic subdivision of Upper Carboniferous-Lower Permian carbonate deposits on western slope of the Northern Urals. A construction and cyclicity of these deposits, main

genetic types of rocks, paragenetic associations, and their paleogeographic distribution were discovered. Two large stages: the Kasimovian-Middle Gzhelian and Late Gzhelian-Sakmarian were distinguished in sedimentation history of a carbonate platform eastern margin. Formation of these stages were caused by structural reconstruction of the area under study during the Uralian Orogeny. Two genetic types of organic buildups among Lower Permian reef-like thickets were determined: skeletal and mud mounds.

УДК 574.4:502.72(47013)

Биологическое разнообразие особо охраняемых природных территорий Республики Коми. Вып. 8. Комплексный ландшафтный заказник «Адак» / А. И. Антошкина, С. В. Вавилова, С. В. Денева, Г. В. Железнова, А. Л. Королёв, Т. П. Митюшева, Н. А. Морозов, Е. Н. Патова, В. И. Пономарев, Т. М. Пыстина, Н. П. Селиванова, А. С. Стенина, Б. Ю. Тетерюк, Л. В. Тетерюк, Л. Г. Хохлова, П. П. Юхтанов. Сыктывкар, 2015. 200 с. + 20 цв. вкл. (Коми научный центр УрО РАН).
aiantoshkina@geo.komisc.ru



Монография продолжает серию изданий, обобщающих результаты исследований биологического разнообразия особо охраняемых природных территорий Республики Коми. В работе представлены итоги изучения наземных и водных экосистем комплексного заказника «Адак». Приведены сведения о геологическом строении территории, состоянии почвенного и растительного покрова, флорах сосудистых растений, мохообразных, водорослей, лишайнобиоты, ихтиофауны и фауны наземных позвоночных. Показана роль заказника в сохранении редких видов растений и животных. Дана характеристика геологического памятника природы «Адзвинский», археологических памятников эпохи мезолита, сероводородных источников, расположенных на территории заказника.

Biological diversity of specially protected natural territories of Komi Republic. Vol. 8. Kompleksnyi landshaftnyi zakaznik Adak (Complex landscape reserve Adak) / A. I. Antoshkina, S. V. Vavilova, S. V. Deneva, G. V. Zheleznova A. L. Korolev, T. P. Mityusheva, N. A. Morozov, E. N. Patova, V. I. Ponomarev, T. M. Pystina, N. P. Selivanova, A. S. Stenina, B. Yu. Teteryuk, L. V. Teteryuk, L. G. Khokhlova, P. P. Yukhtanov. Syktivkar, 2015. 200 p. + 20 col. pages. (Komi Science Center, UB RAS).

The monograph continues the series of publications summarizing results of studies of biological diversity of specially protected areas of Komi Republic. The book presents the results of studies of terrestrial and aquatic ecosystems of Adak Complex Reserve. The data about geological structure of the area, condition of soil and vegetation, floras of vascular plants, mosses, algae, lichenobiota, ichthiofauna and fauna of terrestrial vertebrates are presented. The role of the reserve in the preservation of rare species of plants and animals is shown. The characteristic of the geological nature monument «Adzvin'sky», Mesolithic archaeological monuments, sulfur springs on the reserve is given.

A. I. ANTOSHKINA'S REEF

(to the 70th Anniversary)

On the 12th of March A. I. Antoshkina, chief researcher of Laboratory of lithology and geochemistry of sedimentary formations, a widely known specialist on reef geology, celebrates her 70th Anniversary.

РИФ А. И. АНТОШКИНОЙ

к 70-летию юбилею

Выходы пород ордовика, силура, нижнего девона (и не только они) Западного склона Урала и гряды Чернышева (и не только этих районов) в течение нескольких десятков лет разрушались под ударами молотка активно действующего геологического агента — Вас, Анна Ивановна. С вашим участием были пронумерованы слои в лучших разрезах, взяты на учет и сопоставлены между собой. В результате были разработаны стратиграфические схемы нижнего палеозоя северо-востока Европейской платформы и севера Урала, которые находятся в основе всех геологических исследований. Больше всего досталось от Вас органогенным сооружениям Урала. Их строение, состав и условия образования отражены в многочисленных статьях и двух крупных монографиях, которые стали бестсел-



Силурийский риф в устье р. Балбанью на р. Кожым
Silurian reef in the mouth of Balbanyu River near Kozhym River



А. И. Антошкина во время полевых работ на разрезах р. Кожым, 2005

A. I. Antoshkina during field works at sections of Koshym River, 2005

лерами. Ваши работы с американской коллегой К. Соджи по малоизвестным гидроидам приобрели огромное значение для крупных палеогеодинамических реконструкций раннего палеозоя. Газеты и журналы, включая «Science», отметили данные исследования, в результате которых были установлены родственные связи в далеком прошлом Урала и Аляски (брата и сестры). Обыкновенных же (не-геологов) читателей республиканских газет, вероятно, не тронула информация о каких-то «альфа-сальпингитах» и «террейнах», а вот бананы, когда-то произраставшие на Урале, сильно удивили.

Благодаря трудолюбию и увлеченности своей профессией Вы стали крупным литологом, ведущим специалистом России в области карбонатной седиментологии, одним из лучших знатоков геологии нижнего палеозоя севера Урала. Участие в международных геологических проектах, получение грантов Американской национальной академии и РФФИ, подготовленные и проведенные Вами совещания всероссийского и международного значения свидетельствуют, что Вы умеете работать *mente et malleo*.

Сегодня Вы окружены студентами, руководите аспирантами, консультируете докторантов. Ваше ответственное отношение к научно-преподавательской деятельности можно оценить даже по номерам в КВН, где студенты показывают, что лишь во сне можно получить у Анны Ивановны «автомат» по исторической геологии.

Дорогая Анна Ивановна, счастья, здоровья Вам и Вашим близким! Желаем Вам дальнейшей стабильной и успешной работы, новых интересных экспедиций, находок, открытий и путешествий!

Ответственные за выпуск:
Е. В. Антропова

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

Компьютерная верстка
Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации
ПИ № ФС77-56817 от 29.01.2014
Подписано в печать 29.04.2016

Тираж 200



Заказ 993

Редакция:
167982, Сыктывкар, Первомайская, 54

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