



ИГ УФИЦ РАН

ISSN 2619-0087

*Геологический
Вестник*

№ 3, 2018

ISSN 2619-0087

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

2018. № 3

Главный редактор

Пучков В.Н.

Заместитель

главного редактора
Ковалев С. Г.

*Редакционная
коллегия:*

Абдрахманов Р.Ф.
Артюшкова О. В.
Голованова И. В.
Горожанин В. М.
Данукалова Г. А.
Знаменский С. Е.
Казанцева Т. Т.
Кулагина Е. И.
Маслов А. В.
Осипов В. И.
Савельев Д. Е.
Салихов Д. Н.
Серавкин И. Б.
Сначев В. И.
Эрнст Р.

Учредитель:

Институт геологии
УФИЦ РАН

Адрес редакции:
450000, г. Уфа, ул.
К. Маркса, 16/2
Институт геологии
Тел.: (347) 272-76-36
E-mail: ig@ufaras.ru

© Институт геологии
УФИЦ РАН, 2018
© Авторы статей, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Станевич А.М., Пучков В.Н., Корнилова Т.А., Сергеева Н.Д., Максимова Е.Н.</i> Микрофоссилии стратотипа рифея Южного Урала и протерозоя Восточной Сибири (палеобиологические аспекты)	3
<i>Кочетова Н.Н.</i> Остракоды пограничных отложений нижнего – среднего карбона в разрезе Мурадымово на Южном Урале	42
<i>Иванова Р.М., Кулагина Е.И.</i> Известковые водоросли башкирского яруса (средний карбон) западного склона Южного Урала (Разрезы Асын, Басу, Курьелга)	50
<i>Осипова Е.М., Данукалова Г.А.</i> Комплекс моллюсков из отложений нижнего неоплейстоцена (туркянский горизонт) скважины 2 Косика (Нижняя Волга, Россия)	61
<i>Осипова Е.М., Данукалова Г.А., Хензыхенова Ф.И.</i> Новые данные о моллюсках сартанского горизонта верхнего неоплейстоцена разреза Бохан (Прибайкалье, Россия)	70
<i>Савельев Д.Е., Нуруманова Я.Н., Гатауллин Р.А., Сергеев С.Н.</i> Ультрамафиты массива Узянский Крака (Южный Урал)	79
<i>Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С.</i> К вопросу о петrogenезисе пикритовых комплексов Башкирского мегантиклинория	98
<i>Рахимов И.Р., Холоднов В.В., Салихов Д.Н.</i> Акцессорные апатиты из габброидов позднего девона – раннего карбона Западно-Магнитогорской зоны: особенности морфологии и химического состава, индикаторная металлогеническая роль	109
<i>Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О., Валитов С.А.</i> Формирование химического состава воды и донных отложений Павловского водохранилища...	124
<i>Смирнов А.И., Дурнаева В.Н., Абдрахманов Р.Ф.</i> ГИС-технологии в изучении опасных геологических процессов Южного Урала и Предуралья.....	137

GEOLOGICHESKII VESTNIK

2018. No. 3

Editor-in-Chief

Puchkov V.N.

Deputy Editor

Kovalev S.G.

Editorial board:

Abdrakhmanov R.F.

Artiushkova O.V.

Danukalova G.A.

Ernst R.

Golovanova I.V.

Gorozhanin V.M.

Kazantseva T.T.

Kulagina E.I.

Maslov A.V.

Osipov V.I.

Salikhov D.N.

Savel'ev D.E.

Seravkin I.B.

Snachev V.I.

Znamenskii S.E.

Constitutor:

Institute of geology

UFRC RAS

Editorial address:

450000, Ufa,

Karl Marks st., 16/2.

Institute of Geology.

Tel.: (347) 272-76-36

E-mail: ig@ufaras.ru

CONTENTS

<i>Stanevich A.M., Puchkov V.N., Kornilova T.A., Sergeeva N.D., Maksimova E.N.</i> Microfossils of the Southern Ural riphean stratotype and late precambrian of Eastern Siberia (paleobiologic aspects)	3
<i>Kochetova N.N.</i> Ostracodes of the Lower – Middle Carboniferous Boundary Layers in the Muradymovo Section of the Southern Urals	42
<i>Ivanova R.M., Kulagina E.I.</i> Bashkirian (Pennsilvanian) calcareous algae of the western slope of the Southern Urals (Askyn, Basu and Kurielga Sections) ...	50
<i>Osipova E.M., Danukalova G.A.</i> Mollusc complex from the Lower Neopleistocene deposits (Tyurkyan Horizon) at the borehole 2 Kosika (Lower Volga area, Russia)	61
<i>Osipova E.M., Danukalova G.A., Khenzykhenova F.I.</i> New data on the molluscs of the Sartan Horizon (the Upper Neopleistocene) from the Bokhan section (Fore-Baikal area, Russia)	70
<i>Saveliev D.E., Nugumanova Ya.N., Gataullin R.A., Sergeev S.N.</i> Ultramafic rocks of the Uzyansky Kraka massif (the Southern Urals).....	79
<i>Kovalev S.G., Vysotsky S.I., Kovalev S.S.</i> On the petrogenesis of picrite complexes in the Bashkirian meganticlinorium.....	98
<i>Rakhimov I.R., Kholodnov V.V., Salikhov D.N.</i> Accessory apatites from the gabbroids of Late Devonian – Early Carboniferous gabbroids of the Western Magnitogorsk zone: peculiarities of the morphology and chemical composition, indicative metallogenic role	109
<i>Abdrakhmanov R.F., Poleva A.O., Valitov S.A.</i> Formation of the chemical composition of water and bottom sediments of the Pavlovskoe reservoir ..	124
<i>Smirnov A.I., Durnaeva V.N., Abdrakhmanov R.F.</i> GIS-technologies in study of geohazards of the Southern Urals and CIS-Urals	137

УДК 56/112:551.71(470.55/.57)

DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-1>

МИКРОФОССИЛИИ СТРАТОТИПА РИФЕЯ ЮЖНОГО УРАЛА И ПРОТЕРОЗОЯ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ (ПАЛЕОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

© 2018 г. А. М. Станевич, В. Н. Пучков, Т. А. Корнилова, Н. Д. Сергеева, Е. Н. Максимова

Реферат. На основании актуапалеонтологических выводов, сделанных по формам микрофоссилий и их морфологических рядов из докембрийских разрезов Байкальской складчатой области и Анабаро-Оленекского региона, предполагается палеобиологическая принадлежность части форм из разреза стратотипа рифея Южного Урала. Данна краткая литологическая характеристика стратотипического разреза рифея. Возраст серий и свит скорректирован по последним радиохронологическим данным. Показана краткая история исследований микрофоссилий из отложений рифея в Уральском стратотипе. В результате изучения ассоциаций микрофоссилий из черных сланцев зигазинокомаровской и авзянской свит среднего рифея и зильмердакской, инзерской и укской свит верхнего рифея стратотипа Южного Урала среди новых форм микрофоссилий авзянской свиты описан *Octaedryxium* Rud., известный ранее с позднего рифея. Мелкие объемные формы сопоставляются с бентосом хемолитотрофных или серных бактерий. Богатая ассоциация микрофоссилий верхнего рифея включает разнообразные цианобактерии и акритархи. Из акритарх интересны новый вид *Germinosphaera* aff. *Jankauskasi* Butt. и формы, сопоставляемые с десмидиевыми зелеными водорослями. Найдено несколько форм, которые в неопротерозое юга Восточной Сибири входят в ассоциацию микрофоссилий, сравниваемых с ценобиальными зелеными водорослями. В верхнем рифее обнаружены объемные формы *Retiforma* Mikh. и *Bavlinella faveolata* Schep., известные ранее только с венда. Показано, что различие таксономического состава микробиот во многом определяется различием седиментационных обстановок.

Ключевые слова: Южный Урал, протерозой, рифей, микрофоссилии, акритархи, водоросли, бактерии, обстановки осадконакопления

MICROFOSSILS OF THE SOUTHERN URAL RIPHEAN STRATOTYPE AND LATE PRECAMBRIAN OF EASTERN SIBERIA (PALEOBIOLOGIC ASPECTS)

A. M. Stanevich, V. N. Puchkov, T. A. Kornilova, N. D. Sergeeva, E. N. Maksimova

Abstract. Paleobiological attribution of part of microfossils from a section of South Ural is suggested on the basis of the actuapaleontologic conclusions drawn in forms and their morphologic series from Precambrian section of the Baikal folded area and the Anabar-Olenek region. The short lithologic characteristic of Riphean type section lasting more than one billion years is provided. The age of series and formations is corrected according to the latest isotope chronological data. The history of studying of microfossils of Riphean stratotype is shown. Microfossil associations had been studied from the Zigazino-Komarov and Avzyan Formations of the Middle Riphean, and Zilmerdak, Inzer and Uk Formations of the Upper Riphean. Among new forms of the Avzyan Formation, *Octaedryxium* Rud. had been described, which was known earlier from the Late Riphean. Small volume-preserving forms are identified as benthos of chemolithotrophic or sulfur bacteria. Rich microfossil association of the Upper Riphean includes various cyanobacteria and acritarchs. Of the latter, a new species *Trachyhystrichosphaera* Tim. et Herm. is interesting, as well as forms, identified as desmidian green algae. Some forms are found which in the Neoproterozoic of the South of Eastern Siberia are included into association of the microfossils compared to coenobic green algae. Volume-preserving *Retiforma* Mikh. and *Bavlinella faveolata* Schep. were found, which were known earlier only from the Vendian. It is shown that the difference in the taxonomical content of the microbiotas is greatly influenced by a difference in sedimentation environments.

Keywords: South Urals, Late Proterozoic, Riphean, microfossils, acritarcha, algae, bacteria, depositional environment

Для цитирования: Станевич А.М., Пучков В.Н., Корнилова Т.А., Сергеева Н.Д., Максимова Е.Н. Микрофоссилии стратотипа рифея Южного Урала и протерозоя Восточной Сибири (палеобиологические аспекты) // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 3–41. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-1>.

For citation: Stanevich A.M., Puchkov V.N., Kornilova T.A., Sergeeva N.D., Maksimova E.N. Microfossils of the Southern Ural riphean stratotype and late precambrian of Eastern Siberia (paleobiologic aspects) // Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P.3–41. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-1>.

Введение

Представления о ранних этапах развития органического мира на Земле во многом базируются на данных и выводах исследований микрофоссилий докембрия [Микрофоссилии..., 1989; Сергеев и др., 2010]. В мировой микрофитологии важнейшей проблемой является установление биологической принадлежности докембрийских микрофоссилий (М). Преобладающая их часть, рассматриваемая в классификации акритарх, является до сих пор неопределенной в систематическом отношении. Вместе с тем на основании актуапалеонтологических сравнений многих микрофитологов не остается сомнений в том, что многие из родов сложных и крупных акритарх представляют собой остатки эукариотных организмов, вероятнее всего, грибов и водорослей разных отделов и простейших животных. Указанная проблема касается и микробиот стратотипа рифея Южного Урала (ЮУ). Высокая степень микрофитологической изученности стратотипа [Янкаускас, 1982; Микрофоссилии..., 1989; Вейс и др., 1990] породила в свое время уверенность в межрегиональном корреляционном значении многих М из его отложений. Сегодня видно, что часть из «видов-индексов» преимущественно верхнего рифея Южно-Уральской последовательности, в разрезах других регионов стала известна в более древних отложениях позднего докембрия, вплоть до слоев нижнего рифея (например, *Valeria* Jank. [Javaux et al., 2001]). Это свидетельствует о необходимости более углубленного изучения М в разрезах стратотипа. В свете обозначенной проблемы можно уверенно предположить, что многие акритархи, морфологически не схожие и относимые к разным родам, могут в реальности принадлежать одним организмам [Станевич и др., 2006, 2009]. С другой стороны, конвергентность признаков форм водорослей, и особенно бактерий, может приводить к ситуации, когда морфологически совершенно сходные формы могут относиться к различным организмам. При этом неотъемлемым аспектом палеоэкобиологической интерпретации является установление зон обитания организмов, чьи остатки мы наблюдаем в виде М. Нередки ситуации, когда аллохтонный планктон или бентос может захороняться в алевропелитовом осадке с местным бентосом. Авторы на примере известных и вновь полученных ассоциаций М покажут палеобиологическую интерпретацию некоторых форм акритарх из отложений рифея Южного Урала. Подобные интерпретации были выполнены нами в мезопро-

терозойских и неопротерозойских разрезах Восточной Сибири (рис. 1), отвечающих рифею и венду ОСШ [Розанов, 2004] на достаточно представительном материале.

Стратотип рифея Южного Урала

Последовательность осадочных пород стратотипа рифея представлена практически всем разнообразием отложений, образующих толщу мощностью более чем 15 км [Козлов и др., 1994; Puchkov, 1997; Маслов и др., 2001; Геологическая карта..., 2002; Field trip guide..., 2006; Пучков, 2010] (рис. 2), а стратотипические разрезы рифея изучаются в пределах Башкирского мегантклиниория, начиная с середины XX века (полный обзор см. [Маслов и др., 2001]). За это время были составлены детальные разрезы, установлены соотношения между стратиграфическими подразделениями стратотипа, изучены ассоциации микробиальных построек (строматолитов и микрофитолитов) и М [Семихатов и др., 1991]. Часть ранее полученных радиохронологических датировок в последнее время была уточнена и дополнена новыми данными, полученными современными изотопными (SHRIMP-II и ID-TIMS) методами (см. рис. 2), что существенно уточнило возраст основных подразделений стратотипа рифея [Willner et al., 2003; Пучков и др., 2007, 2009, 2016; Пучков, 2010; Краснобаев и др., 2013] и позволило предложить иной вариант их корреляции с Международной стратиграфической шкалой [Puchkov et al., 2014]. Согласно предложенной корреляции нижний и средний рифей примерно соответствуют мезопротерозою, а верхний рифей и венд отвечают неопротерозою.

Для рифейских отложений характерна четкая цикличность в осадконакоплении, позволившая в свое время выделить мегаритмы, отвечающие сериям: бурзянской (бурзянский), юрматинской (юрматинский) и каратауской (каратауский), соответственно нижнего (включая верх палеопротерозоя), среднего и верхнего рифея. Новые датировки (707.0 ± 2.3 млн лет и 732.1 ± 1.7 млн лет [Краснобаев и др., 2012]) по цирконам из аршинских вулканитов в Тирлянской синклинали на Южном Урале позволили выделить в рифеев дополнительное стратиграфическое подразделение: завершающий (терминальный) рифей — аршинский, включающий аршинскую серию (RF_{4ar}) [Козлов и др., 2011; Пучков и др., 2014] в возрастном диапазоне 600–770 млн лет. Рассматриваемые отложения долгое время сопоставлялись с более молодыми вендинскими образованиями

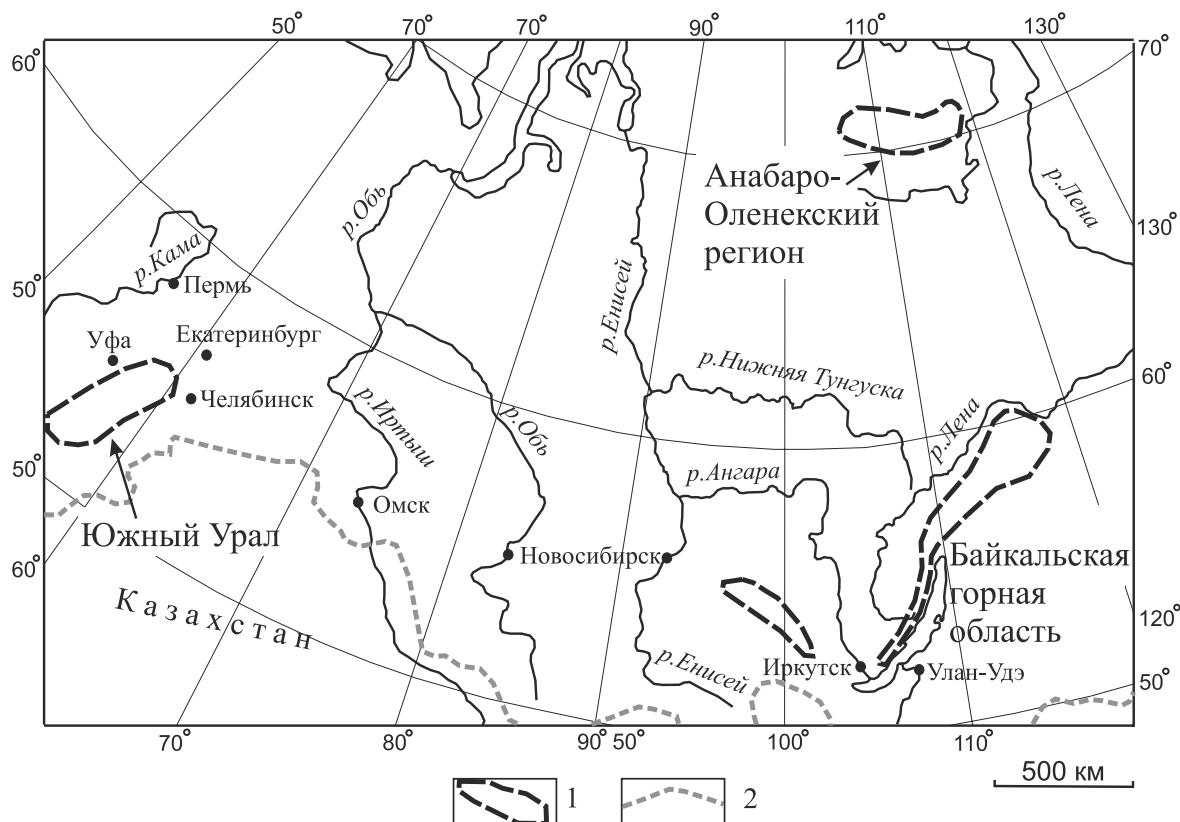


Рис. 1. Контуры площадей развития отложений позднего докембра

Условные обозначения: 1 — площади с разрезами отложений позднего докембра; 2 — государственная граница.

Fig. 1. Location of areas with Late Precambrian sections

Legend: 1 — area with sections of deposits of the Late Precambrian; 2 — state boundary.

и, несмотря на значительную мощность (около 2 км) и литологическую неоднородность, не расчленялись. Рифейские образования несогласно перекрыты отложениями ашинской серии венда.

Нижний рифей (бурзянский). Стратотипически для бурзяния являются разрезы Тараташского антиклиниория [Козлов и др., 1989], где выделены (снизу) айская, саткинская и бакальская свиты, связанные между собой постепенными переходами (см. рис. 2). Айская свита залегает с размывом и угловым несогласием на кристаллических комплексах нижнего протерозоя и представлена разнозернистыми полимиктовыми, полевошпат-кварцевыми и арковыми песчаниками и алевролитами, полимиктовыми разногалечными конгломератами и гравелитами, сланцами глинистыми, филлитовидными, часто углеродистыми, единичны прослои песчанистых доломитов; в нижней части отмечаются вулканиты [Ernst et al., 2006]. Саткинская свита представлена преимущественно доломитами и известняками, нередко содержащими строматолиты

и микрофитолиты, с прослойями и пачками глинистых и углеродисто-глинистых сланцев, часто известковистых. Из сланцев извлечена бедная ассоциация микрофоссилий [Янкаускас, 1982]. Бакальская свита сложена углеродисто-глинистыми сланцами, доломитами и в меньшей степени известняками, с прослойями кварцевых алевролитов и песчаников. В карбонатных породах свиты присутствуют строматолиты и микрофитолиты, а в сланцах — М, описанные как бакальская биота [Янкаускас, 1982; Козлов и др., 1989]. Общая мощность отложений бурзяния в стратотипе 4600–6300 м. Отложения нижнего рифея Ямантауского антиклиниория, являющиеся возрастными аналогами айской, саткинской и бакальской свит Тараташского антиклиниория, имеют некоторые отличительные особенности состава, строения и биостратиграфической характеристики, что послужило основанием для выделения здесь местных свит: большеинзерской, суранской и юшинской, общей мощностью более 5000 м (см. рис. 2).

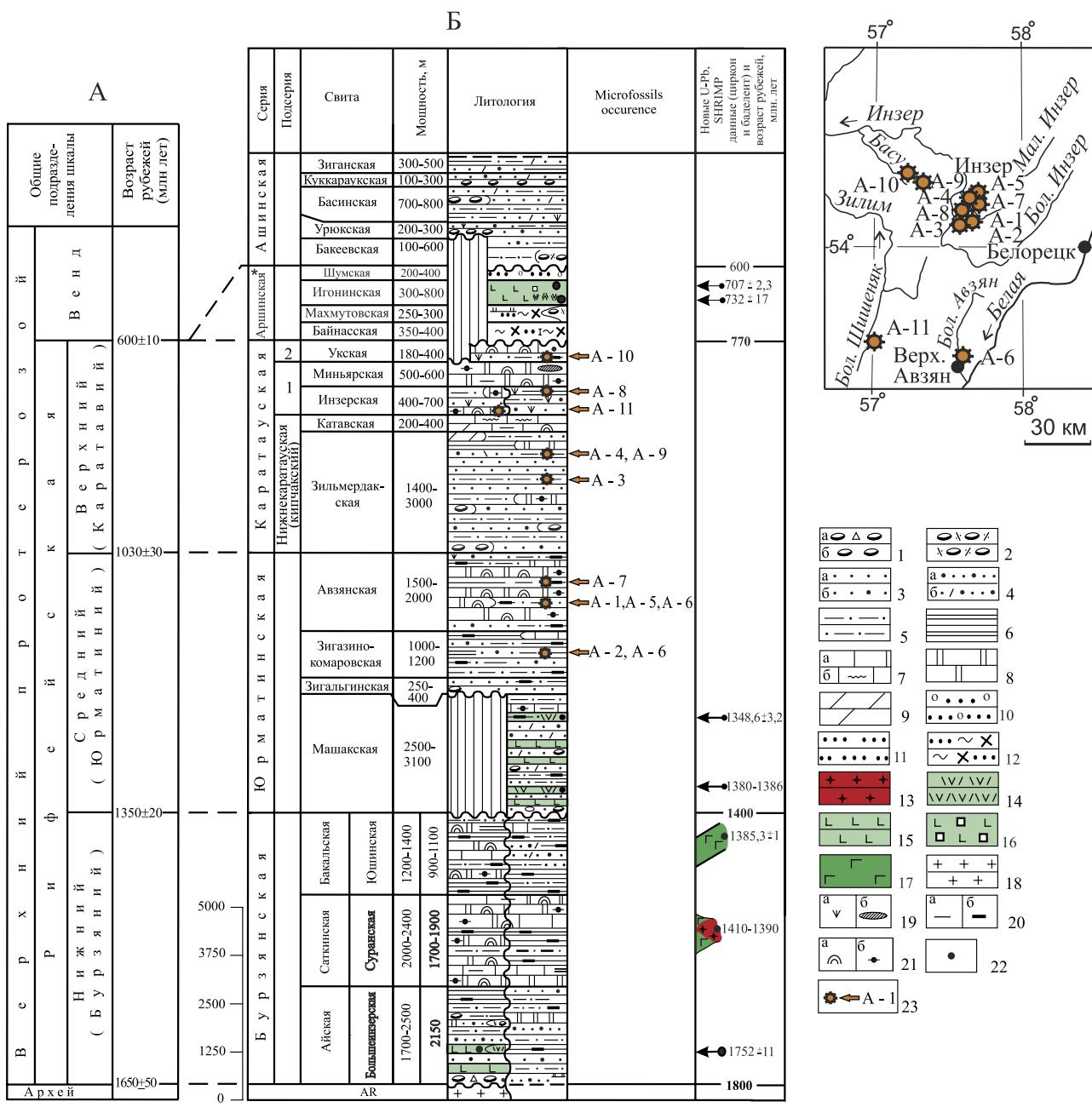


Рис. 2. Общие подразделения шкалы верхнего докембрия России [Семихатов и др., 1991] (А) и сводная стратиграфическая колонка верхнедокембрейских образований Уральского стратотипа [Стратиграфические..., 1993; Геологическая карта..., 2002; Козлов и др., 1989, 2011; Puchkov et al., 2014] (Б).

Условные обозначения: 1 — конгломерато-брекчии (а), конгломераты (б); 2 — полимиктовые конгломераты; 3, 4 — песчаники: 3 — кварцевые (а) и полевошпат-кварцевые (б), 4 — арковые (а) и полимиктовые (б); 5 — алевролиты; 6 — аргиллиты; 7 — известняки (а) и струйчатые известняки (б); 8 — доломиты; 9 — мергели; 10 — кварцито-песчаники гравийные; 11 — кварцито-песчаники и кварциты; 12 — слюдисто-хлорито-кварцевые сланцы; 13 — граниты; 14 — риодидиты; 15 — метабазальты; 16 — метабазальтовые порфиры; 17 — габбро; 18 — породы кристаллического фундамента; 19, 20 — характеристика породы: 19 — глауконит (а) и кремни (б), 20 — глинистость (а), углеродистость (б); 21 — органические остатки: строматолиты (а), микрофитолиты (б); 22 — местоположение новых изотопных датировок; 23 — места отбора проб на микрофосилии и их номера. Средний рифей, авзянская свита: А-1 — левый берег руч. Катаскин (левый приток р. Мал. Инзер в районе пос. Катаскин); А-7 — автотрасса Уфа — Белорецк на левом берегу р. Реветь в 6 км восточнее пос. Инзер; А-5 — автотрасса Уфа — Белорецк в 3,6 км восточнее автодорожного моста через р. Реветь; авзянская и зигазино-комаровская свиты: А-6 — левый берег р. Бол. Авзян в районе пос. Верхний Авзян; А-2 — левый берег р. Мал. Инзер в 300 м ниже б/п Катаскин. Верхний рифей, зильмердакская свита: А-3 — левый берег р. Мал. Инзер в 1 км ниже р. Реветь; А-4 —

правый берег р. Мал. Инзер в 200 м восточнее моста по автотрассе Уфа – Белорецк; инзерская свита: А-11 – правый берег р. Большой Шишеняк в 6 км севернее с. Кулгунино; укская свита: А-10 – автотрасса Уфа – Белорецк на правом берегу р. Басу в 500 м выше хут. Кулмас.

Fig. 2. General subdivisions of the Scale of the Upper Precambrian of Russia [Semikhatov et al., 1991 (in Russian)] (A) and synthetic stratigraphic column of the Upper Precambrian complexes of the Uralian stratotype [Stratigraficheskie..., 1993 (in Russian); Geologicheskaya karta..., 2002 (in Russian); Kozlov et al., 1989 (in Russian), 2011 (in Russian); Puchkov et al., 2014] (B)

Legend: 1 – conglomerate-breccias (a), conglomerates (б); 2 – polymictic conglomerates; 3, 4 – sandstones: 3 – quartz (a) and feldspar-quartz (б), 4 – arkose (a) and polymictic (б); 5 – siltstones; 6 – shales; 7 – limestones (a) and striated limestones (б); 8 – dolomites; 9 – marls; 10 – gravel quartzite-sandstones; 11 – quartzite-sandstones and quartzites; 12 – mica-chlorite-quartz schists; 13 – granites; 14 – rhyodacites; 15 – metabasalts; 16 – metabasalt porphyrites; 17 – gabbro; 18 – rocks of the crystalline basement; 19, 20 – characteristics of the rocks: 19 – glauconite (a) and cherts (б), 20 – argillaceous (a), carbonaceous (б); 21 – organic residues: stromatolites (a), microphytolites (б); 22 – locations of new isotopic datings; 23 – places of sampling for microfossils and their numbers. Middle Riphean, Avzyan Formation: A-1 – the left bank of Kataskin Creek (the left tributary of Maly Inzer river near Kataskin village); A-7 – automobile road Ufa – Beloretsk at the left bank of Revet river, 6 km to the east of Inzer village; A-5 – auto road Ufa – Beloretsk 3.6 km to the east of the railroad bridge over Revet River; Avzyan and Zigazino-Komarov Formations: A-6 – the left bank of the Bol. Avzyan river near the Verkhniy Avzyan village; A-2 – the left bank of Maly Inzer river, 300 m downstream from former settlement Kataskin. The Upper Riphean, Zilmerdak Formation: A-3 – the left bank of Maly Inzer river, 1 km downstream from Revet river; A-4 – the right bank of Maly Inzer river, 200 m to the east from the bridge at the Ufa – Beloretsk highway; Inzer Formation: A-11 – the right bank of Bol. Shishenyak river, 6 km to the north from the village Kulgunino; Uk Formation: A-10 – Ufa – Beloretsk highway at the right bank of Basu river, 500 m upstream of the Kulmas village.

Средний рифей (юрматиний). В составе среднего рифея (юрматинская серия) выделены (снизу) машакская, зигальгинская, зигазино-комаровская и авзянская свиты (см. рис. 2), связанные между собой постепенными переходами [Стратиграфические..., 1993]. Нижняя граница серии определяется подошвой зигальгинской (на западе) или машакской (на востоке) свит, трангрессивно и несогласно перекрывающих подстилающие отложения нижнего рифея. Машакская свита представлена основными и кислыми эфузивами, их туфами и туфобрекчиями, полимиктовыми песчаниками и алевролитами, конгломератами, углеродисто-глинистыми сланцами, в верхней части свиты отмечаются единичные маломощные прослои известняков. Зигальгинская свита сложена преимущественно характерными светло-серыми кварцевыми песчаниками, их кварцитовидными разностями и кварцитами, с линзами конгломератов, с прослоями и пачками алевролитов и глинистых сланцев, часто углеродистых. Зигазино-комаровская свита представлена глинистыми сланцами, большей частью углеродистыми, переслаивающимися с кварцевыми и полевошпат-кварцевыми алевролитами и песчаниками; отмечаются прослои глинистых и алевритистых доломитов. В отложениях свиты в районе города Бакал и по левому берегу р. Большой Авзян описаны М среднего рифея [Янкаускас, 1982]. Авзянская свита сложена чередованием карбонатных (доломиты, известняки и редко сидериты) и терригенных (алевролиты и песчаники полевошпат-кварцевого состава) пород, с прослоями и пачками глинистых и углеродисто-глинистых сланцев. В карбонатных породах авзянской свиты содержатся строматолиты и микрофитолиты,

а в глинистых – М. Свита завершает разрез юрматинской серии, мощность отложений которой изменяется от 5500 до 6700 м.

Верхний рифей (каратавий). Карагауская серия расчленена на зильмердакскую, катавскую, инзерскую, миньярскую и укскую свиты, связанные между собой постепенными переходами (см. рис. 2), и только в основании укской свиты местами отмечается небольшой перерыв. Нижняя граница серии совпадает с подошвой зильмердакской свиты, залегающей на подстилающих отложениях юрматинской серии с постепенным переходом [Козлов, 1982; Козлов и др., 1994]. Зильмердакская свита сложена разнозернистыми полевошпат-кварцевыми, арковыми, субарковыми, кварцевыми и полимиктовыми песчаниками и алевролитами, глинистыми сланцами, присутствуют маломощные прослои и линзы конгломератов, гравелитов и песчанистых доломитов. Катавская свита почти нацело представлена известняками (в основании со строматолитами верхнерифейского комплекса), их глинистыми разностями и мергелями. Инзерская свита представлена полевошпат-кварцевыми и кварцевыми песчаниками, алевролитами, часто с глауконитом, и аргиллитами; в западных разрезах свиты существенную роль играют известняки и доломиты, нередко содержащие строматолиты. Миньярская свита сложена доломитами и доломитизированными известняками, содержащими строматолиты и микрофитолиты. Укская свита представлена известняками, часто содержащими строматолиты и микрофитолиты, глаукониткварцевыми, кварцевыми и полимиктовыми песчаниками и алевролитами с прослоями аргиллитов. Укская свита завершает разрез карагауской серии, общая мощ-

ность отложений которой колеблется от 2600 до 5100 м.

Завершающий (терминальный) рифей (аршиний) включает аршинскую серию, образования которой распространены только на восточном крыле Башкирского мегантиклинория в Тирлянской синклинали (страторегион) и ее аналоги (криволукская свита) в Криволукской синклинали, расположенной южнее. Серия расчленена на свиты (снизу, см. рис. 2): байнассскую, махмутовскую, игонинскую и шумскую. Байнасская свита сложена сланцами переменного серицит-хлорит-кварцевого состава, часто известковистыми, с прослоями карбонатно-кварцевых разностей; в основании свиты отмечаются разногалечные конгломераты и кварцевые песчаники. Махмутовская свита представлена кварцевыми и полевошпат-кварцевыми песчаниками, тиллитами, кварцитовидными серицит-кварцевыми сланцами и кварцитами. Игонинская свита сложена вулканогенными образованиями (метабазальтами, их туфами и туфобрекциями) с прослоями вулканогенно-осадочных (вулканомиктовых песчаников и алевролитов) и осадочных (песчаников, алевролитов и гравийно-псаммитовых микститов, с карбонатными прослоями) пород. Шумская свита представлена кварцито-песчаниками и сланцами серицит-хлорит-кварцевыми. Суммарная мощность отложений аршинской серии в страторегионе изменяется от 1100 до 1900 м.

Микрофоссилии докембria

Изучение растительных остатков из докембра началось в конце XIX столетия с находок Ч. Уолкоттом [Walcott, 1899; Микрофоссилии..., 1989] макроскопически видимых остатков в терригенных отложениях позднего протерозоя Северной Америки. Наиболее интенсивно микрофитология докембра стала развиваться с пятидесятых годов прошлого столетия. Ее история достаточно подробно освещена в печати [Микрофоссилии..., 1989; Knoll et al., 1991; Knoll, Sergeev, 1995; Martin, 1993; Сергеев, 2006]. Впервые органостенные М из рифейских отложений Урала были описаны С.Н. Наумовой [1951], которая отнесла их к спорам высших растений. Этого заблуждения отчасти придерживался и основоположник советской микрофитологии Б.В. Тимофеев [1959]. Вместе с тем его открытия многочисленных местонахождений М докембра на территории СССР и за рубежом оказали огромное влияние на развитие микрофитологии докембра в СССР [Тимофеев, 1966, 1969].

Большинство этих остатков как им, так и его многочисленными последователями относились к микрофитопланктону. Среди различных классификаций того времени, которые в дальнейшем реально не использовались, важной вехой можно считать статью Н.А. Волковой [1965], которая ввела в отечественную микрофитологию классификацию акритарх (Acritarcha [Downie et al., 1963; Evitt, 1963a, 1963b]). В 70–80 гг. регулярно проводились коллоквиумы, где опробовался новый материал и решались биостратиграфические вопросы. Наибольшее значение имел Всесоюзный коллоквиум в 1986 г. в Ленинграде, перед которым группа микрофитологов под руководством Т.В. Янкаускаса проделала огромную работу по систематизации имеющегося материала и уменьшению числа синонимичных таксонов. Одним из результатов этого коллоквиума стали удаление из употребления 83 родов и публикация обобщающей сводки по М докембрию СССР [Микрофоссилии..., 1989].

Окремненные М из строматолитовых карбонатов впервые стали изучаться в 1950 гг. [Tyler, Barghoorn, 1954]. Растущее количество местонахождений М из окремненных карбонатов от нижнего протерозоя до кембрия показало их значительное разнообразие. С другой стороны, стало видно морфологическое сходство большинства этих остатков с современными цианобактериями. Изучение окремненных микроорганизмов в СССР началось с посещения Д. Шопфа нашей страны и открытия цианобактериальных биот в нескольких разрезах [Шопф, Советов, 1976; Schopf et al., 1977].

За последние 60 лет открыты сотни местонахождений М из отложений докембра всех континентов. Сегодня стало ясно, что появление высокоорганизованных форм жизни происходило гораздо раньше, чем представлялось даже 20 лет назад. Формы М извлекают растворением тонкозернистых терригенных пород, концентрируя находящуюся в них органическую фракцию. Другим методом является изучение их в петрографических шлифах сингенетических кремней мелководных биохемогенных карбонатов. Большинство форм из кремней по своей морфологии и условиям обитания уверенно сопоставляются с современными цианобактериями [Станевич, 1997; Якшин, 2002; Сергеев, 2003]. Органостенные М, извлеченные кислотным растворением, чаще всего относят к акритархам — группе неясного систематического положения (Acritarcha [Evitt, 1963a, 1963b]). Определенно можно говорить, что в акритархи включают непосредственно органические остатки разных по биологической природе

групп микро- и частично макроскопических организмов — бактерий, цианобактерий, грибов, водорослей и проблематических микроорганизмов [Микрофоссилии..., 1989]. Таким образом, преобладающее количество формальных родов и видов докембрийских акритарх пока не может быть соотнесено с таксонами филогенетических классификаций.

С экобиологических позиций наиболее полно изучены как современные, так и докембрийские сообщества цианобактерий (сине-зеленых водорослей). Биологическая принадлежность большинства органостенных М является проблематичной и известные актуапалеонтологические сравнения только показывают неисчерпаемую перспективу этого направления работ. Эукариотическая природа сложно построенных и крупных акритарх позднего докембрая не вызывает сомнений. Уверенность в этом подкрепляется неизвестными ранее данными об эволюционных тенденциях биохимических параметров из раннедокембрийских отложений. Результатом изучения молекулярных и химических свойств архейских микробиот стало заключение о наличии фотосинтезирующих способностей бактерий в это время [Brocks et al., 1999; Xiao, 2002; Olson, Blankenship, 2004]. Применение молекулярно-биологических методов изучения микробиот открыло перспективу независимой биологической диагностики докембрийских М. Эти исследования в сочетании с ультраструктурным изучением форм позволяют дифференцировать ткани бактерий и более продвинутых организмов, вплоть до установления близких аналогий между акритархами и представителями отделов водорослей [Aouriti et al., 1999, 2000]. Анализ филогенетических отношений таксонов разных доменов в фанерозое и позднем докембреи позволил предположить возникновение первых эукариот еще в раннем протерозое [Knoll et al., 1991; Розанов, 2004; Xiao et al., 2004]. Сейчас практически общепризнанным является то, что экспансия эукариотических организмов в неопротерозое является продолжением их долгой истории, начиная с раннего протерозоя [Семихатов и др., 1999].

В железосодержащих отложениях Северной Америки с возрастом 2.1 млрд лет найдены макроскопические эукариотные водоросли [Han, Runnegar, 1992]. Обнаруженные недавно крупные (до 8 см) лепешкообразные формы в пиритизированных сланцах с возрастом 2.1 млрд лет на юго-востоке Габона интерпретируются как остатки многоклеточных животных [Albani et al., 2010]. Хотя,

с другой стороны, их можно трактовать как литоформы, образованные в диагенезе по бактериальным колониям. В углеродистых сланцах палеопротерозоя Кольского полуострова обнаружены М, сопоставляемые с грибами [Ахмедов и др., 2000]. Кроме находок сложноустроенных акритарх [Samuelsson et al., 1999; Javaux et al., 2003] в мезопротерозое выделяются представители грибов, зеленых и красных водорослей [Walter et al., 1976; Butterfield et al., 1990; Butterfield, 2001; Станевич и др., 2006]. Но наибольшие богатство форм и возможности для биологической интерпретации предоставляют биоценозы неопротерозоя. Из анализа репродуктивных форм М было сделано предположение об основных эволюционных событиях для группы протистов на рубеже среднего и позднего рифея [Butterfield, 2000]. Из лахандинской серии этого времени известны крупные М, интерпретируемые как остатки животных [Герман, Подковыров, 2002, 2005]. В отложениях позднего рифея открыты многие ассоциации М, содержащие остатки грибов [Герман, 1979; Butterfield, 2005], зеленых, красных и хромофитовых водорослей [Knoll, 1992, 1994; Martin, 1993; Butterfield et al., 1994; Knoll, Sergeev, 1995; Xunlai, Hofmann, 1998; Butterfield, 2001], ваушиевые водоросли, а также формы, отнесенные в общем к протистам [Knoll et al., 1991; Vidal et al., 1993]. Разнообразие и сложность позднепротерозойской жизни подтверждают находки аннелидоморф в позднем рифее [Гниловская, 1998]. М других местонахождений неопротерозоя показывают сложное строение, известное раньше только у форм из нижнепалеозойских слоев. Часть из них доказательно описывается, как красные водоросли [Xiao et al., 2004], как доэдиакарские животные [Chen et al., 2000; Porter, Knoll, 2000; Xiao, Knoll, 2000; Xiao, 2002], или сопоставляется в общем с многоклеточными эукариотными организмами [Yin, 1998; Вейс и др., 1999; Tiwari, 1999; Yin, Guan, 1999; Samuelsson, Butterfield, 2001].

Другим моментом микрофитологии докембрая является то, что как окременные, так и в большинстве органостенные формы изучены из слоев мелководных зон литорали и верхней сублиторали палеошельфов. Микробиоты из более глубоководных отложений, не говоря о батиальных зонах, известны несравненно меньше [Moorman, 1974; Horodyski, 1993; Ахмедов и др., 2000]. Но даже по немногочисленным данным видно, что по морфологии и меньшим размерам формы глубоководных биот существенно отличаются от хорошо известных М мелководных зон. Аналогично можно провести

сравнение и по степени изученности ассоциаций форм в геодинамическом аспекте. Преобладающее количество протерозойских микробиот найдено в отложениях палеошельфов, которые можно охарактеризовать как реликты пассивных окраин континентов. В осадочно-вулканогенных образованиях островодужных обстановок протерозоя находки М являются немногочисленными. Основной причиной малой изученности форм представляется их редкая сохранность в отложениях указанных обстановок [Sedimentary..., 1986; Кеннетт, 1987; Обстановки..., 1990].

Среди микрофитологов преобладает убеждение в планктонной форме обитания микроорганизмов докембрия, рассматриваемых в акритарахах. Вместе с тем имеющиеся сведения о палеобиоценозах этого времени и анализ вероятных обстановок осадконакопления [Sedimentary..., 1986; Кеннетт, 1987; Обстановки..., 1990] позволяют представить

разные условия не только жизнедеятельности, но и захоронения форм разных групп организмов (рис. 3).

Формы бентосных водорослей литорали и сублиторали захоронялись преимущественно на участках своего обитания. Но их остатки, как и остатки планктона, легко переносились на далекие расстояния и отлагались в тонко-терригенных фациях, участвуя в формировании углеродсодержащих осадков. Ввиду преобладающего растворения, большинство форм планктона не доходило до глубоководных осадков. Этим и бактериальной деструкцией объясняется практическое отсутствие их находок в углеродсодержащих отложениях склона и его подножья палеобассейнов, а также подтверждает тезис о самодостаточной жизнедеятельности глубинных бактериальных сообществ [Станевич, Файзулина, 1992]. Наибольшие разнообразие и объем органических остатков должны

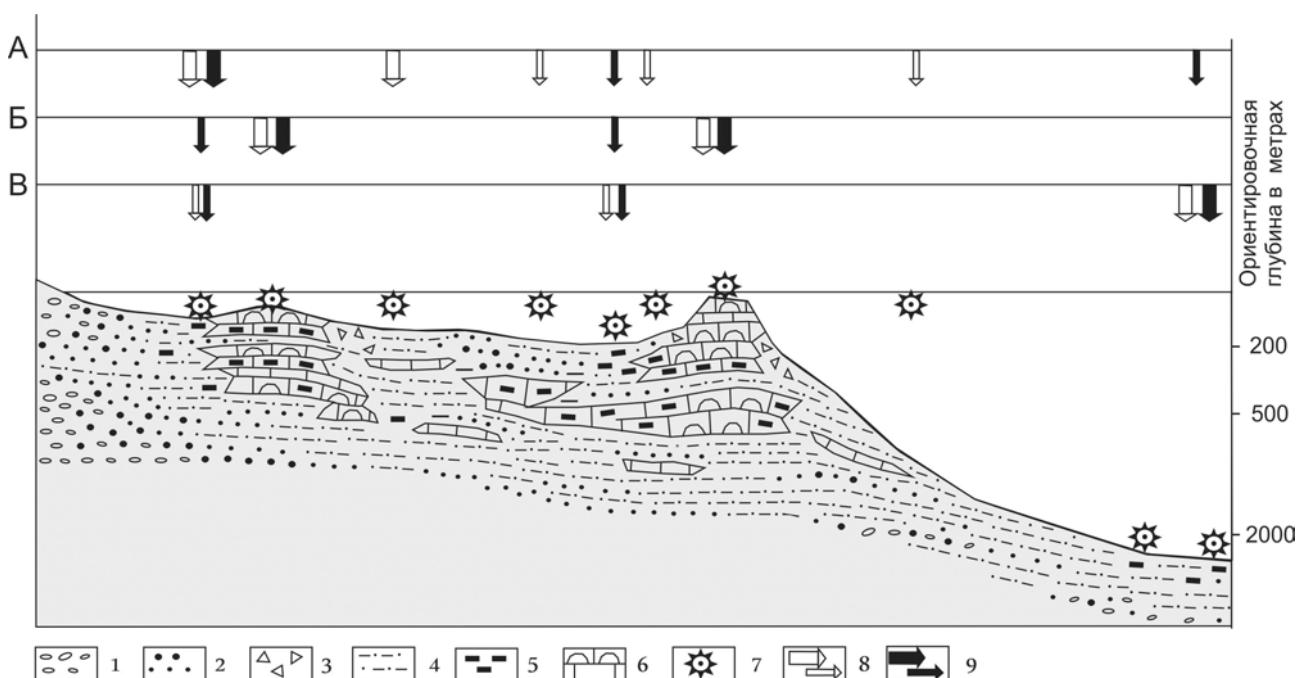


Рис. 3. Модель распространения участков преимущественных жизнедеятельности и захоронения форм микроорганизмов в морских бассейнах позднего докембрия. А — водоросли фотической зоны литорали и сублиторали, в том числе и планктон эпипелагии; Б — бентос цианобактериальных сообществ карбонатных построек; В — бентос бактериальных сообществ углеродсодержащих алевропелитов

Условные обозначения: 1 — конгломераты; 2 — гравелиты, песчаники; 3 — брекчия обрушения; 4 — алевропелитовые отложения; 5 — углеродсодержащие отложения; 6 — карбонаты органогенные; 7 — участки обитания групп микроорганизмов; 8, 9 — максимальная и незначительная вероятность: 8 — жизнедеятельности, 9 — захоронения микроорганизмов.

Fig. 3. Model of distribution of places of predominant life activity and burial of microorganisms in marine basins of the Late Precambrian. A — algae of photic zone of the littoral and sublittoral, including plankton of epipelagic zone; Б — benthos of cyanobacterial communities in bioherms, biostromes; В — benthos of bacterial communities of carbon-bearing shaly siltstones

Legend: 1 — conglomerates; 2 — gritstones and sandstones; 3 — slump breccia; 4 — shaly siltstones; 5 — carbonaceous sediments; 6 — organogenic carbonates; 7 — places of inhabitation of groups of microorganisms; 8, 9 — maximal and unimportant probability: 8 — of life activity, 9 — of burial of microorganisms.

иметь зоны застойных впадин шельфа, что подтверждается в случае мелководных фаций платформенного типа [Вейс, Петров, 1994]. Но в случае плотностной стратификации вод и образования участков с застойными условиями, из всего комплекса фоссилий могут остаться лишь формы сульфатредуцирующих и других бактерий, участвовавших в деструкции форм других групп организмов. Эта достаточно примитивная схема (см. рис. 3) демонстрирует, насколько спорными могут быть многие экофациальные заключения.

Методика изучения микрофоссилий и материал

Для кислотного извлечения органостенных форм нами использовались приемы стандартной палеопалинологической макерации. Большинство М Байкальской складчатой области (БСО, рис. 4) представлены мелкими формами, изучение которых возможно лишь при увеличении $\times 1000$ и больше светового микроскопа.

Вопрос возможного загрязнения докембрийских проб более молодыми формами является актуальным и не в полной мере решается выполнением известных методических инструкций. Обычно специалист достаточно отчетливо отличает занесенные формы от древних. Но для обеспечения большей стерильности макерата, перед основным растворением порода частично растворялась во фтористоводородной кислоте и растворенная часть удалялась. Для просмотра органического осадка на электронных сканирующих микроскопах (Philips Sem 525M, XL30 ESEM TMP и др.) тонкая глинисто-углеродистая фракция удалялась подогревом в азотной кислоте до кипячения. Часть материала изучалась в петрографических шлифах, изготовленных из кусочков проб, подвергнутых растворению. Следует отметить, что внутреннее строение М в шлифах распознается труднее, в отличие от препаратов с макератом, из-за фонового наложения минеральных частиц. Фотографирование на световом микроскопе производилось обычной фотоприставкой, с последующим сканированием негативов. Другая часть изображений получена на микроскопах с цифровой фотоприставкой.

В результате исследований многих микрофитологов М были изучены из всех серий стратотипа [Микрофоссилии..., 1989; Albani et al., 2010]. Последние обобщения по органостенным М рифея Южного Урала включают как новые данные, так и критический пересмотр предшествующих [Вейс

и др., 1990, 2003]. По основным публикациям в разрезах нижнего рифея описано 33 видовых таксона М, в разрезах среднего рифея — 39. Наиболее богатые и интересные местонахождения присутствуют в отложениях верхнего рифея. Из них описано более 115 таксонов, часть из просто устроенных форм которых известна в разрезах нижнего и среднего рифея. Приведенные ниже вновь полученные микрофитологические данные из среднего и верхнего рифея стратотипа (см. рис. 2) позволяют по-иному, чем ранее, осветить экологическую и биологическую принадлежность ряда микрофоссилий и их стратиграфическое значение. Нами обработано около 40 проб из отложений среднего (зигазино-комаровская и авзянская свиты) и верхнего (зильмердакская, инзерская, укская свиты) рифея. М изучались как в препаратах, так и в петрографических шлифах, что позволило наблюдать формы, не сохраняющиеся при растворении, и их соотношение с осадком. Из двух среднерифейских свит описано соответственно 4 и 14 видов. Из зильмердакской свиты описано 11 видов, из инзерской — 32 вида, из укской — 28 видов.

Большинство таксонов Уральского разреза известно во многих позднедокембрийских отложениях мира и рассматривается в классификации акритарх. Вместе с тем изучение и сравнение между собой ряда форм из докембрийских отложений Анабаро-Оленекского региона (АОР) и БСО (см. рис. 4) показало, что в некоторых случаях можно наметить палеобиологическую принадлежность общеизвестных форм акритарх [Станевич, Файзулина, 1992; Стратиграфические..., 1993; Станевич и др., 2009]. Поэтому авторы постараются ниже привлечь данные и выводы, полученные в этих регионах, для систематической интерпретации М стратотипа рифея.

Наиболее однозначную экобиологическую характеристику в докембреи имеют минерализованные М из узкоразвитой субаэральной фации органогенных карбонатов [Golubic, 1976; Hofmann, 1976; Knoll et al., 1991; Сергеев, 1992, 2003; Sergeev et al., 2012]. В разрезах рифея Сибири было выделено четыре трансрегиональных типа фациально-экологических группировок органостенных М [Вейс, Петров, 1994; Вейс и др., 1999]. При этом намеченные закономерности их фациального распределения распространяются только на верхнюю часть шельфа (с глубиной не более 50–80 м). Современные отложения этих зон не превышают 9% от всей массы осадков океанов и морей, а большая часть микроорганизмов захороняется на всем пространстве

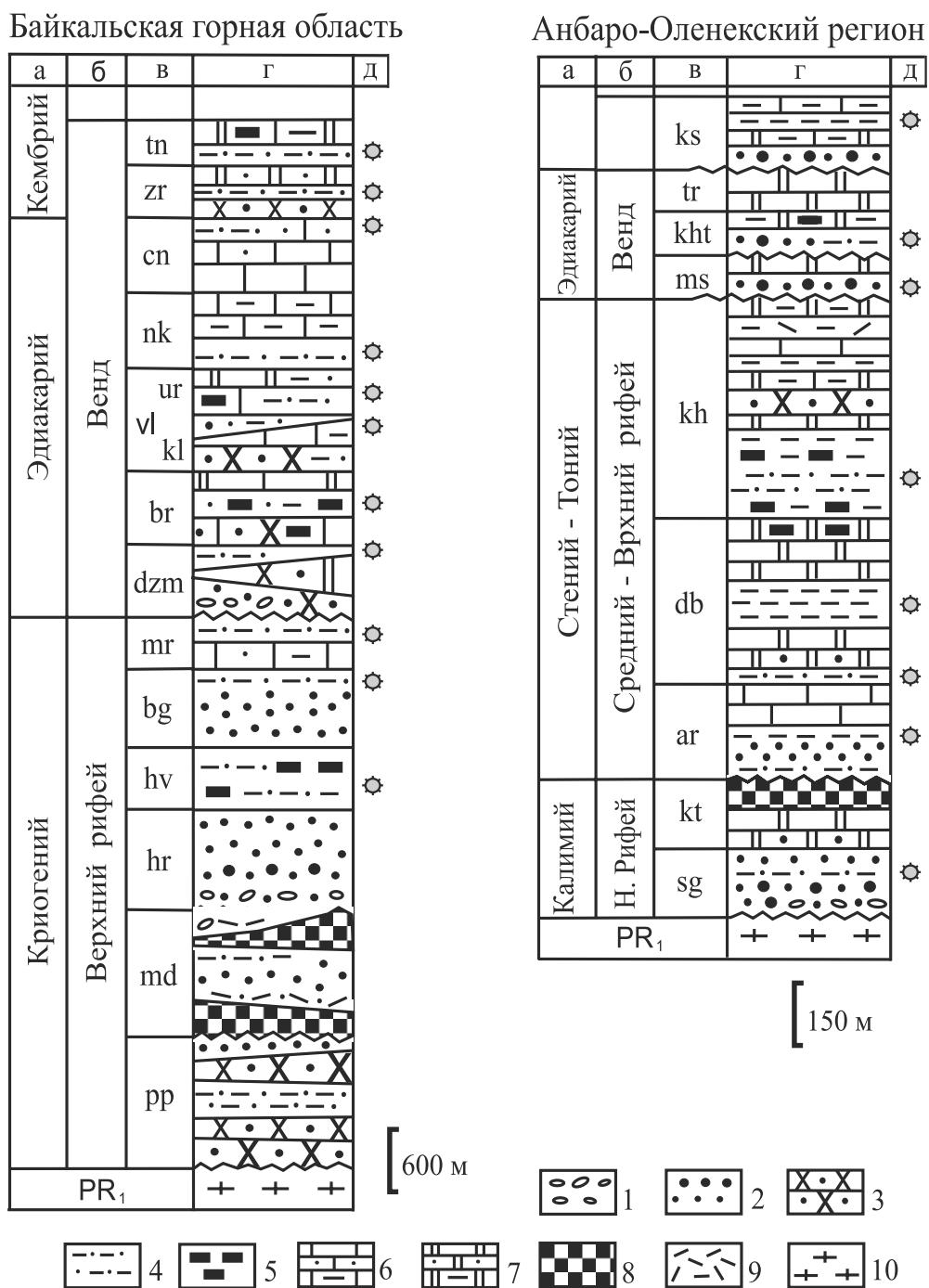


Рис. 4. Стратиграфическая последовательность отложений позднего докембria в Байкальской складчатой области и Анабаро-Оленекском регионе. а, б — геохронологическая шкала: а — международная, б — российская; в — свиты; г — литология; д — местонахождение микрофоссилий

Условные обозначения: 1 — конгломераты; 2 — полимиктовые, аркозовые гравелиты и песчаники; 3 — кварцевые песчаники; 4 — алевролиты, аргиллиты; 5 — углеродсодержащие осадки; 6 — известняки, известняки песчаные, песчанистые; переслаивание доломитов и алевроаргиллитов; 7 — доломиты, доломиты песчаные, песчанистые; переслаивание доломитов и алевроаргиллитов; 8 — вулканиты основного состава; 9 — туфы и туффиты; 10 — граниты, гнейсы нижнего докембria. Свиты и толщи: аг — арымасская, bg — бугарихтинская, br — баракунская, сн — ченчинская, db — дебенгдинская, dlг — джалагунская, dn — даннинская, dzm — джемкуанская, hr — харлухтахская, hv — хайвергинская, kh — хайпахская, kht — хатыспытская, kl — каланчевская, ks — кесюссинская, kt — кютингдинская, md — медвежевская, mt — мариинская, ms — маастахская, nk — никольская, pp — пурпольская, sg — сыгынахтахская, tn — тинновская, tr — туркутская, vr — уринская, vl — валюхтинская, zr — жербинская.

Fig. 4. Stratigraphic succession of Late Precambrian deposits in the Baikal folded area and Anabar-Olenek region. а, б — geochronologic scale: а — International, б — Russian; в — formations; г — lithology; д — microfossils occurrence

Legend: 1 — conglomerates; 2 — polymictic, arkosic-greywacke gritstones and sandstones; 3 — quartz sandstones; 4 — siltstones, shales; 5 — carbonaceous sediments; 6 — limestone, arenaceous limestone, intercalation of limestone and shaly siltstones; 7 — dolomites, arenaceous dolomites, intercalation of dolomites and shaly siltstones; 8 — basic volcanic rocks; 9 — tuffs and tuffites; 10 — Lower Precambrian granites, gneisses, schists. Formations and strata: ar — Arymas, bg — Bugarikhta, br — Barakun, cn — Chencha, db — Debengda, dlg — Dzhalagun, dn — Dannaya, dzm — Dzhemkukan, hr — Kharlukhtakh, hv — Khaiverga, kh — Khaipakh, kht — Khatyspyt, kl — Kalancha, ks — Kessyuse, kt — Kyutingda, md — Medvezhevka, mr — Mariinka, ms — Maastakh, nk — Nikola, pp — Purpol, sg — Sygynakhtakh, tn — Tinnaya, tr — Turkut, ur — Ura, vl — Valyukhta, zr — Zherba.

сублиторали и глубже [Кеннетт, 1987]. Сведения о палеобиоценозах из глубоководных, углеродсодержащих отложений являются малочисленными [Javaux et al., 2001; Olson, Blankenship, 2004]. В отличие от большинства известных местонахождений М, значительная часть микрофитологически изученных отложений докембрия БСО отражает достаточно глубоководные морские условия [Немеров, Станевич, 2001; Станевич и др., 2006]. Сопоставление латеральных рядов отложений в разрезах региональных горизонтов дает представление об условиях жизнедеятельности и захоронения микроорганизмов, и в ряде случаев об их вероятной естественно-таксономической ориентации. С этих позиций был предпринят анализ морфологически сходных ассоциаций М позднего докембрия БСО, что привело к предварительному выделению экобиологических группировок [Станевич, 1997; Немеров, Станевич, 2001; Stanevich, 2003].

Экобиологическая интерпретация акритарх. Бактерии

Остатки строматолитообразующих цианофитовых сообществ известны в эпипелагиальных зонах всех трех районов (см. рис. 1). В частности, из укской свиты получены разнообразные нити цианобактерий (табл. I, фиг. 15–26), которые предварительно можно сопоставить с представителями гормогониевого или хамесифонового классов [Микрофоссилии..., 1989]. Микроорганизмы преимущественно иной бактериальной природы преобладают в более глубоководных фациях дистального шельфа [Станевич, Файзулина, 1992; Станевич и др., 2006]. Остатки клеток, их округлых агрегатов и почкующихся форм в различных стадиях развития наблюдались в массе в препаратах и шлифах из элементарных слойков (0.5–2 мм) углеродистых алевропелитовых циклитов (табл. II, фиг. 1, 2). Нередко они являются породообразующими для этих слойков (до 30% от мощности слойка). Автохтонный характер этой ассоциации М подчеркивается почти полным отсутствием других морфологи-

ческих групп. Аналогичные формы и их скопления широко присутствуют и в разрезах Южного Урала (табл. II, фиг. 3, 8–10). Разновидности с коккоидной структурой преобладают в этой ассоциации бентосных форм (табл. II, фиг. 4–7, 13). Они относятся к *Bavlinella faveolata* Schep. или к *B. variabilis* (Moorm.) [Станевич и др., 2006; Moorman, 1974]. Вышеуказанные формы сохраняют объем и внутренние признаки, чем отличаются от многих акритарх.

Bavlinella и сопутствующие им формы интерпретируются как остатки сульфатредуцирующих сообществ [Немеров, Станевич, 2001; Станевич и др., 2006]. Углеродсодержащие тонко-терригенные фации с этими сообществами формируются преимущественно в анаэробных, в разной степени стагнационных условиях морских бассейнов, вплоть до мезобатиальных, афотических участков [Кеннетт, 1987]. Формы этих сообществ являются деструкторами для привносимых органических остатков и редко присутствуют в мелководных отложениях, совместно с более крупными и смятыми, плоскими акритархами. Так, «обугленные» остатки крупных *Leiosphaeridia* cf. *jacutica* (Tim.) с «дырками», вероятно, от кристаллов пирита обнаружены в углеродистых сланцах баракунской свиты БСО совместно с объемными формами бактериального бентоса [Станевич и др., 2006]. Во множестве присутствуют мелкие и объемные бактериальные формы из наиболее глубоководных отложений региона. Редко встречаются смятые и кородированные остатки, которые можно диагностировать как *Leiosphaeridia* div. sp. [Немеров, Станевич, 2001; Станевич и др., 2006].

Коккоидная или ячеисто-коккоидная структура индивидов *Bavlinella* характерна также для многих форм других родов акритарх, что обусловило введение понятия «межродового таксона» [Станевич и др., 2006]. Мы предполагаем, что протопласт первичных клеток бактерий или водорослей был замещен агрегатами бактериальных форм (*Bavlinella*). Формы из куонамских сланцев кембрия, аналогичные *Bavlinella*, определены как колонии пурпурных серобактерий *Thiocapsae* или *Thiocystes*, клетки

которых замещены фрамбоидами пирита [Жмур, Горленко, 1990]. М. Мурман [Moogman, 1974] отнесла подобные и другие остатки из позднерифейской формации *Hector* к сине-зеленым водорослям. Эти остатки интерпретировались как планктон, занесенный в глубоководные углеродистые осадки. Но формы из последних логичнее трактовать как остатки придонных сообществ факультативно гелиофобных, хемолитотрофных бактерий, в том числе и серобактерий [Определитель бактерий..., 1997]. Эти микроорганизмы также образуют разнообразные, в основном округлые, слизистые колонии и размножаются делением [Шлегель, 1987]. Таким образом, породообразующая ассоциация представляется как сообщество факультативно темновых эубактерий, отчасти независимых от других микроорганизмов в своем питании. Известно, что миксотрофный метаболизм в условиях дефицита света и аллохтонных биогенов свойственен части сульфатредуцирующих и других бактерий [Определитель бактерий..., 1997] и определяет их самодостаточную жизнедеятельность. Сообщества хемолитотрофных бактерий, осуществляющих хемосинтез и темновую (в условиях отсутствия солнечного света) ассимиляцию CO_2 на глубинах до 3700 м показывают крайний случай подобной независимости [Леин и др., 1996].

Актуапалеонтологические сравнения и анализ обстановок местонахождений позволили отнести ряд форм *Acritarcha* к другим группам бактерий [Немеров, Станевич, 2001; Станевич и др., 2006]. Формы *Octoedryxium* Rud. известны как в разрезах Южного Урала, так и БСО (табл. I, фиг. 1–14). Очертания полимерных оболочек *Octoedryxium* Rud. соответствуют вариантам орторомбической модификации серы. Данное сходство и известная способность клеток простейших концентрировать биофильные элементы и, в максимальной мере, серу [Шлегель, 1987] позволяют представить модель происхождения этих форм. Сера, в осадке с контрастным сочетанием восстановительных и окислительных условий, при окислении накапливается в клетках аэробных серных бактерий, постепенно переходя в кристаллическую форму. Оболочка клетки формируется в соответствии с очертаниями растущего кристалла при прекращении жизнедеятельности и погребении. Сера трансформируется в свою моноклинную модификацию и диффундирует из оболочки в диагенезе. Сходная обстановка может возникать в переотложенных терригенных фациях литорали и внутренней сублиторали при хемобиогенном карбонатонакоплении, откуда и из-

вестно большинство находок *Octoedryxium*. Здесь ассоциируют строматолитовые карбонаты, кварцевые песчаники и углеродсодержащие алевропелиты. Метаболические особенности существующих микроаэрофильных бактерий рода *Thiovulum*, клетки которых часто выполняют орторомбические включения серы [Определитель бактерий..., 1997], подтверждают вышеупомянутую интерпретацию. Вероятность сопоставления подчеркивается размерами части форм *Thiovulum* (5–50 мкм), которые сопоставимы с размерами форм *Octoedryxium*.

Экобиологическая интерпретация акритарх. Водоросли

Характерной особенностью вышеописанных бактерий, как из отложений БСО, так и в других местонахождениях [Янкаускас, 1982; Михайлова, Подковыров, 1987; Zang, Walter, 1992; Horodyski, 1993], является способность сохранять объем своих оболочек и внутренние признаки в условиях диагенеза и начальной субфации зелено-сланцевой фации метаморфизма. Этим свойством и меньшими размерами они отличаются от многих акритарх, которые сплющиваются в плоскую пластинку еще в начале литификации осадка [Бурзин, 1997] и с которыми преимущественно знакома подавляющая часть микрофитологов. Особенности объемных форм и их соотношения с другими акритархами и с осадком кратко освещены раньше [Stanovich, 2003; Станевич и др., 2009]. Здесь необходимо только подчеркнуть, что устойчивость полимерной оболочки обусловила сохранность внутренних признаков, позволивших наметить нижеприведенные актуаморфологические сравнения. Это свойство характерно для акритарх БСО, которые мы сравниваем с ценобиальными зелеными водорослями [Станевич и др., 2006, 2007].

Органостенные М позднего докембрия БСО изучаются более 50 лет [Трещетенкова и др., 1982; Микрофоссилии..., 1989; Станевич, Файзулина, 1992; Тимофеев, 1966; Станевич и др., 2006]. Основное внимание при этом уделялось выяснению их вертикального и латерального распространения в целях использования при корреляции отложений. Сейчас видно, что из всех биостратиграфических выводов заслуживает внимания межрегиональное значение микробиоты уринской свиты [Воробьев, 2008; Голубкова и др., 2010] и выдержаный уровень появления ассоциации форм, ранее включаемых в III-а подкомплекс Сибирской платформы [Решения Всесоюзного..., 1986; Станевич,

Файзулина, 1992; Розанов, 2004]. Сегодня акритархи, сопоставляемые с ценобиальными зелеными водорослями, можно отнести к этому же подкомплексу [Станевич и др., 2006].

Непрерывный фрагмент разреза верхней части ченчинской свиты мощностью 75 м, в котором были обнаружены формы этой ассоциации, расположен на левом берегу р. Бол. Чуя (см. рис. 4). Он представлен глинисто-алевритовыми отложениями с тонкой ритмичной слоистостью, включающими тонкие прослои известняков. Условия формирования верхнеченчинских слоев в разрезе на р. Бол. Чуя соответствуют обстановкам верхней сублиторали с пассивным режимом седиментации. Фоновое осаждение алевритов и органогенных слойков с М происходило в обстановке изолированного, вероятно, барьерными рифами участка шельфа, без существенного влияния штормов и интенсивных течений.

Среди акритарх ченчинской ассоциации был выделен *Dictyotidium minor* Stan. (табл. III, фиг. 1, 2) [Станевич и др., 2007], который впоследствии, независимо от автора, был вторично опубликован уже в составе нового рода *Dictyotidia* [Микрофоссилии..., 1989], что противоречит как этическим нормам, так и Кодексу [Международный кодекс..., 1996]. Но присутствие форм рода *Dictyotidium* Eis. emend Stapl. в докембрийских разрезах вскоре было подтверждено описанием *D. fullerene* Butt. из органогенных карбонатов Шпицбергена, близких по возрасту отложениям ченчинской свиты [Chen et al., 2000]. При изучении форм *Dictyotidium minor* методами электронной микроскопии были обнаружены структуры, указывающие на близость строения этих акритарх и ценобиальных колоний зеленых водорослей *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh. Для М этого вида, которые наряду с формами *P. kuwraiskyi* Schmid. обнаружены и в ископаемом состоянии, характерно ценобиальное строение из 4–128 и более клеток [Водоросли..., 1989; Царенко, 1990; Algae, 1995]. Клетки дифференцированы на наружные и внутренние, чаще всего плотно сросшиеся всеми сторонами. Наружные клетки выемчатые с двумя неразветвленными, слегка зауженными к верхушке отростками, снабженными длинными узкими придатками в плоскости ценобия. Видимые на фотографии ребра или выступы акритарх *D. minor* (табл. III, фиг. 1), вероятнее всего, являются именно сросшимися придатками, образованными выростами клеточной оболочки.

Ченчинскую «микробиоту», совместно с *D. minor*, составляют округлые и тетраэдрические *Tchuja*

и *Centrum* Stan. и морфологически переходные между ними формы, их скопления и другие акритархи (табл. III, фиг. 3–7). По своим признакам М этих родов, и в особенности *Centrum* Stan. (табл. III, фиг. 3), хорошо сопоставляются с широко распространенными современными видами-космополитами *Tetraedron minimum* (A. Br.) Hansg. и *Chlorotetraedron fitridens* (Berk-Mannag.) Kom. et Kovac. Для них характерны одиночные клетки, имеющие тетраэдрические, полиэдрические (4–6-угольные) очертания с прямыми или вогнутыми сторонами. Оболочки могут быть трехслойными. Бесполое размножение происходит автоспорами. Если учесть тот признак, что современные представители *T. minimum* имеют уплощенные клетки, то предпочтение при сопоставлении акритарх следует отдать *C. fitridens*. Клетки современных *Chlorococcales*, с которыми сопоставляются акритархи, обладают широким видовым полиморфизмом [Водоросли..., 1989; Курс низших..., 1981; Algae, 1995].

В ченчинской ассоциации присутствуют морфотипы, имеющие одновременно признаки родов *Tchuja* и *Centrum* Stan. [Станевич и др., 2006, 2007]. У них отчетливо видны различные типы зональных слоев и варианты морфологически переходных форм. Толстостенная оболочка, которая часто наблюдается у этих форм, является родовым признаком для акритарх *Retiforma* Mikh. [Михайлова, Подковыров, 1987], свойственна для апланоспор или акинет, в частности современных *Tetrasporales* [Водоросли..., 1989; Курс низших..., 1981]. Внутренне коккоидное строение как *Tchuja granosa* Stan. (табл. III, фиг. 4), так и *Retiforma tolparica* Mikh. (табл. III, фиг. 6, 9) можно объяснить зародышами автоспор, что характерно для специализированных клеток зеленых водорослей. По строению они хорошо сопоставляются с автоспорангиями современного рода *Chlorella* Beijer. Формы последнего могут образовывать до 16 автоспор внутри материнской оболочки, вырастать и давать начало следующей генерации. Учитывая высокую вероятность конвергентности признаков у ископаемого материала, можно иметь в виду другой вариант интерпретации, где коккоидные образования внутри оболочек акритарх могут представлять собой бактериальные клетки, посмертно (или симбиотически) замещающие протопласт водорослевой формы в сингенезе [Stanevich, 2003].

Разнообразие сотен изученных форм можно свести к нескольким родам и видам акритарх. Большинство форм сравнимо по морфологии

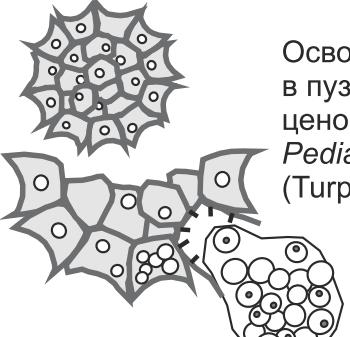
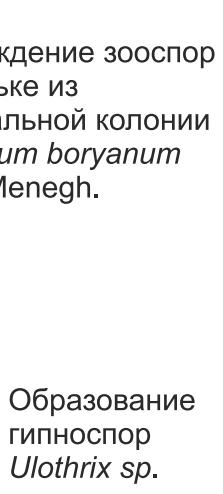
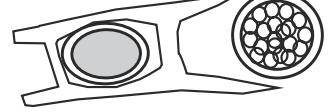
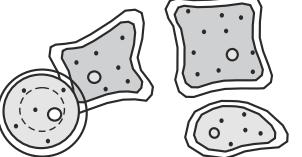
Современные водоросли	Формы акритарх	
	Освобождение зооспор в пузырьке из ценобиальной колонии <i>Pediastrum boryanum</i> (Turp.) Menegh. 	1. <i>Dictyotidium minor</i> Stan., <i>Dictyotidium</i> sp.
	Образование гипноспор <i>Ulothrix</i> sp.	2. <i>Bavlinella</i> div. sp.
	Освобождение апланспор <i>Microspora willeiana</i> Lagern.	3. <i>Margominuscula</i> Naum., <i>Retiforma</i> sp.
	Автоспоры <i>Tetraedron minimum</i> (A.Br.) Hansg.	4. <i>Retiforma tolparica</i> Mikh.
		5. <i>Tchuja</i> div. sp.
		6. <i>Centrum</i> div. sp.

Схема репродуктивного цикла неопротерозойских зеленых водорослей на основе морфотипов акритарх (1 - 6)

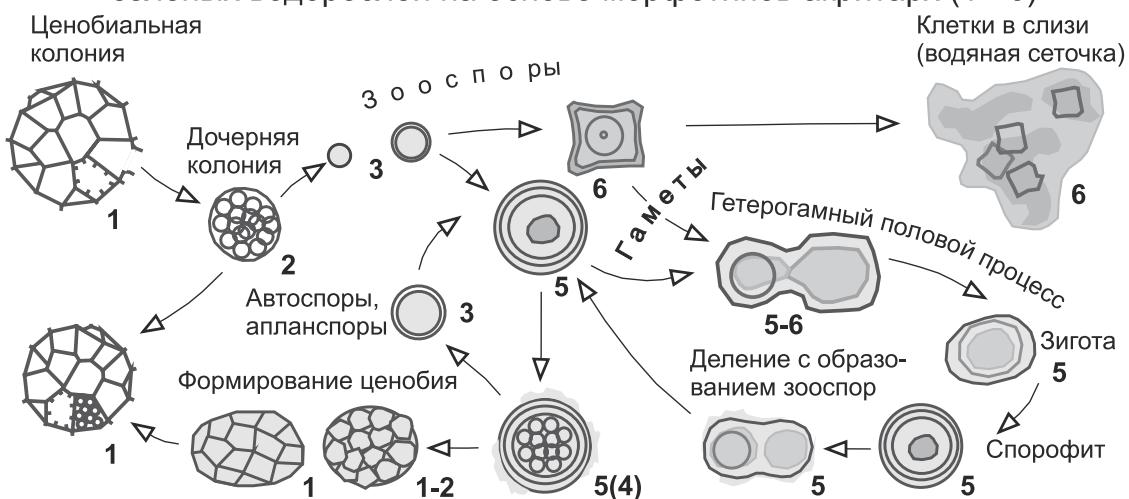


Рис. 5. Сравнение морфологии репродуктивных форм современных зеленых водорослей и акритарх из позднерифейских отложений Саяно-Байкальского региона

Fig. 5. Comparison of reproductive forms morphology of the recent green algae and acritarchs from Vendian deposits of Chencha Formation of the Baikal folded area

и размерам (в среднем 7–35 мкм) с некоторыми представителями современных зеленых водорослей, что видно из сравнения древних и современных форм (рис. 5). Всего объемные формы, которые авторы сравнивают с ценобиальными зелеными водорослями, насчитывают в БСО 22 вида. Большинство из них присутствует в биоте ченчинской свиты, где отсутствуют другие морфотипы. В биотах других разрезов региона имеется по 2–5 видов из этой ассоциации. В стратотипе Южного Урала удалось обнаружить только несколько форм этой ассоциации (табл. III, фиг. 8, 9). В хорошо изученных местонахождениях позднего докембрия АОР этот и другие типы объемных акритарх неизвестны.

Совершенно другой тип микрофоссилий, отличающийся от описанного выше, представлен в отложениях позднего рифея ЮУ и АОР (см. рис. 1, 2, 4). Как отмечалось, они представляют собой классические акритархи — уплощенные пластины значительно больших размеров (табл. III–V). Актуальность выявления природы части этих акритарх побудила авторов статьи в первую очередь попытаться провести моррофункциональный анализ признаков микрофоссилий с целью выявления их вероятных аналогов в современной флористике. Как известно, в основе подобного анализа лежит принцип актуализма, основанный в данном случае на сравнении не только признаков ископаемых и современных форм, но и вероятных разных стадий развития, сопоставимых с морфологическим разнообразием современных водорослей.

Как видно (см. табл. III–V), скорее всего, М принадлежат нескольким различным растительным сообществам. Как в дебендинской и арымасской свитах АОР [Станевич и др., 2009], так и в свитах ЮУ присутствует значительное количество крупных обрывков растительной ткани. Часть из них имеет сложную полиморфную структуру, где округлые вздутия можно трактовать или как реликты репродуктивных органов, или, что более вероятно, как гумифицированные оболочки паренхимных клеток [Станевич и др., 2009]. В другом случае фрагмент фитолеймы (?) содержит форму, которая однозначно может быть отнесена к роду акритарх *Leiosphaeridia* Eis. Данное образование, как и в вендотенидах [Гниловская и др., 1988], можно интерпретировать как репродуктивное вместилище. Плотные сфероморфные оболочки, отнесенные к роду акритарх *Simia* Mikh. et Jank., наблюдались как отдельно, так и в составе фрагментов растительной ткани. Крупные размеры, паренхиматическое строение слоевищ и несомненная связь

их с оболочками, которые, вероятно, являлись репродуктивными органами, позволяют отнести их к многоклеточным эукариотным водорослям. Относительно биологической интерпретации форм типа *Leiosphaeridia* нам известно одно достаточно доказательное сравнение. В.В. Кирьяновым [1986] на выделенных щадящей кислотной методикой крупных слоевищах из нижнекембрийских отложений были описаны прикрепленные крупные формы разных родов акритарх, в том числе и *Leiosphaeridia*. И эти образования были сопоставлены с бурыми водорослями. Формы типовых разновидностей *Leiosphaeridia* известны от нижнего рифея до, по крайней мере, середины палеозоя. Поэтому пока не существует сколько-нибудь серьезной альтернативы предположению о принадлежности вышеупомянутых остатков отделу бурых водорослей. Отнесенные к ним акритархи составляют основной фоновый набор М как на ЮУ, так и в АОР. Вместе с обрывками слоевищ все они, скорее всего, отражают фрагменты единого биоценоза бурых водорослей, ведущих факультативно бентосный образ жизни и представляющих бентос литорали, остатки зарослей которого мы наблюдаем только в виде неоднократно перенесенных фрагментов [Станевич и др., 2009].

Для биологической интерпретации представляет интерес группа акритарх *Scaphyta eniseica* Tim., *Scaphyta* sp. (ad lib. *Lophosphaeridium* sp.), характеризующихся ладьевидной формой в сплющенном состоянии и, видимо, при жизни представляющих собой плавающие «чашечки» (табл. III, фиг. 17, 18, 20, 21; табл. IV, фиг. 1–7, 15–17). Среди разнообразных форм сходного ладьевидного строения достаточно многочисленными являются экземпляры, имеющие округлые отверстия (*Leiosphaeridia* (?) *kulgurica* Jank.). В разрезе АОР только в одном случае была обнаружена структура отверстия, по которой можно предположить ее функциональное значение (табл. IV, фиг. 18). Хорошо видно, что отверстие обрамлено равномерными и правильными бугорочками. Эта структура может быть интерпретирована, как коньюгирующий канал, развивающийся при половом размножении современных зеленых водорослей порядка Desmidiales (Menegh.) Pasch. (рис. 6). Схожие структуры были обнаружены и в отложениях ЮУ (табл. IV, фиг. 11). В материале из АОР в массе присутствуют формы с бородавчатыми и разных очертаний палочко-видными выростами (табл. IV, фиг. 19–21). Близкие микрофоссилии найдены и в разрезах ЮУ (табл. IV, фиг. 8–10; табл. V, фиг. 2).

Исходя из сравнения с современными представителями зеленых водорослей [Косинская, 1960; Park et al., 1996; Жизнь растений..., 1977; Engels, Lorch, 1981], все эти ладьевидные формы, скорее всего, представляют собой прикрепленное

к мелководному терригенному осадку сообщество, репродуктивные органы которого в определенный момент развития отрываются и переходят в планктонное или факультативно планктонное состояние в целях расширения ареала сообщества.

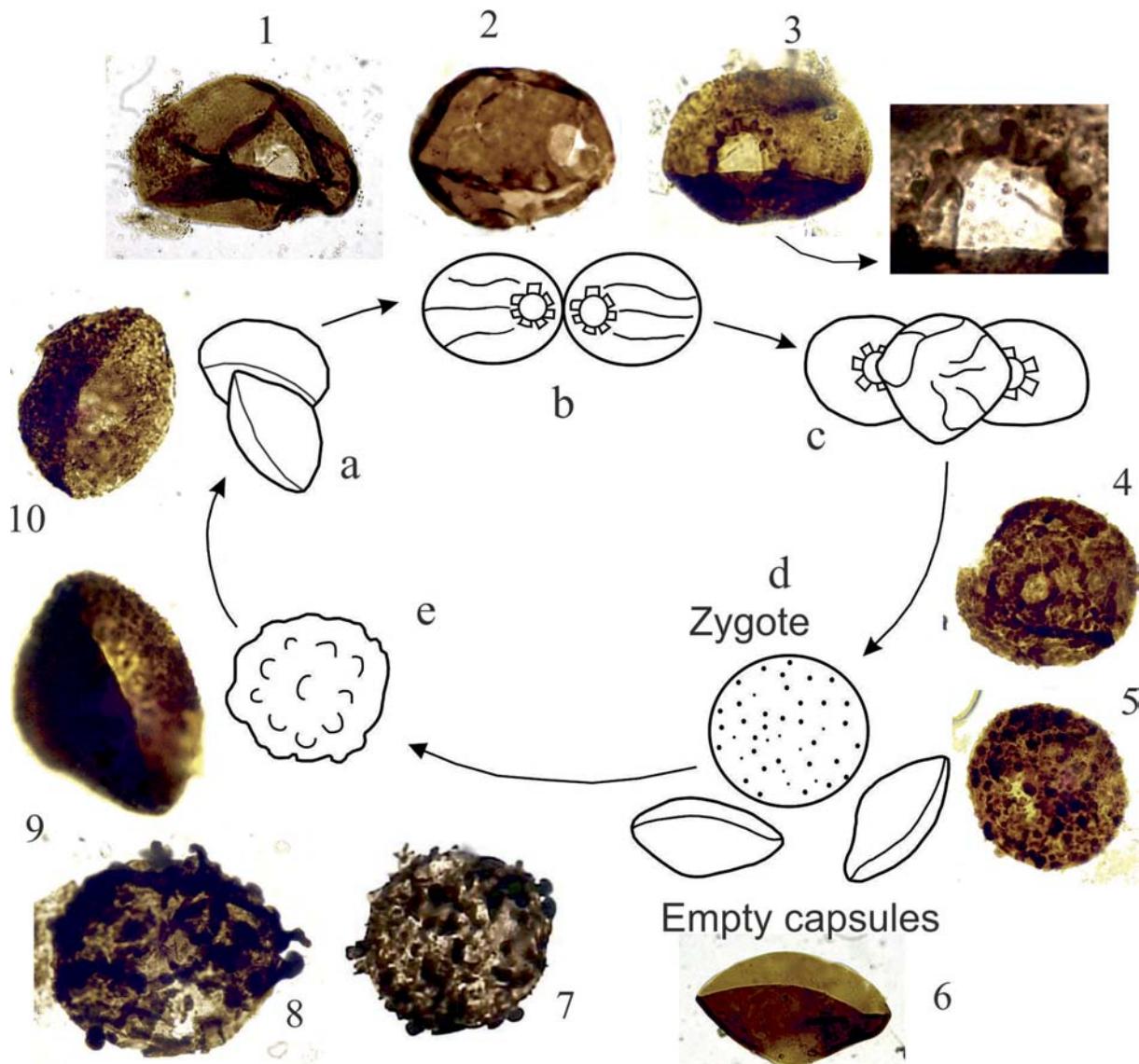


Рис. 6. Схема коньюгации десмидиевых зеленых водорослей и морфологический ряд акритарх дебенгдинской свиты, соответствующий этой схеме

Основные стадии развития: а — стадия сближения; б — формирование копуляционного канала; в — слияние содержимого клеток; г — формирование зиготы; д — утолщение и орнаментация оболочки зиготы. **Формы акритарх:** фиг. 1, 2 — *Leiosphaeridia kulgunica* Jank.; фиг. 3 — *Leiosphaeridia (?) kulgunica* Jank.; фиг. 4, 5, 7, 8 — *Lophosphaeridium insuetum* Stan.; фиг. 6 — *Scaphyta eniseica* Tim.; фиг. 9, 10 — *Scaphyta* sp. (ad lib. *Lophosphaeridium* sp.). Размеры акритарх от 70 до 95 мкм.

Fig. 6. Conjugation scheme of green algae of the order Desmidiales and morphological row of Debengda Formation acritarch corresponding this scheme

The main stages of evolution: а — convergence stage; б — formation of copulation canal; в — cells interfluence; г — forming of a zygote; д — the capsule of zygote becomes thicker and acquires ornamentation. **Acritarchs:** fig. 1, 2 — *Leiosphaeridia kulgunica* Jank.; fig. 3 — *Leiosphaeridia (?) kulgunica* Jank.; fig. 4, 5, 7, 8 — *Lophosphaeridium insuetum* Stan.; fig. 6 — *Scaphyta eniseica* Tim.; fig. 9, 10 — *Scaphyta* sp. (ad lib. *Lophosphaeridium* sp.). Acritarch size from 70 to 95 µm.

Для современных представителей десмидиевых характерен ряд особенностей, которые отмечаются и в нашем материале (см. ниже).

Формы с бородавчатыми и разных очертаний палочковидными выростами (табл. IV, фиг. 8–10, 19–21; табл. V, фиг. 2) в первом приближении можно сравнить со спорангиями низших грибов. Вместе с тем сонахождение этих форм с акритархами, которые сравниваются с коньюгатными десмидиевыми, позволяет по ряду актуапалеонтологических сравнений предположить сродство «бородавчатых» форм с последними. И в первую очередь с развивающимися зиготами десмидиевых. Зигота современных коньюгатов состоит из трех слоев. Экзоспорий — самый наружный из трех слоев оболочки зиготы часто орнаментирован различными украшениями — зубцы, шипы или разветвленные отростки. Иногда он бывает бородавчатым, ячеистым или пунктированным. Средний слой (мезоспорий) состоит из целлюлозы, пропитанной суберином. Внутренний слой (эндоспорий) состоит из целлюлозы. При определенных условиях процесс копуляции может прерываться, и клетка окружается плотной оболочкой, предохраняющей ее от воздействия экстремальных условий. Все это в значительной мере соответствует описанным экземплярам. Тем более что в полученном нами материале присутствуют переходные формы, имеющие признаки как «лодочек», так и «бородавчатых» форм (табл. IV, фиг. 6, 19).

Многие морфологические признаки современных форм десмидиевых приобретаются или утрачиваются в течение жизни одного индивидуума или при смене способа размножения в зависимости от изменения среды. Так, в определенный период взросления особь может приобретать утолщенную оболочку, усложненную гранулами, бородавками и шипами и часто может быть пропитана гидрокислами железа, что может увеличивать плотность внешнего слоя формы. Так как внешний слой современных десмидиевых является непроницаемым, в определенных случаях образуются различно расположенные поры, назначения которых сводятся к выделению слизи, питанию и удалению продуктов жизнедеятельности. Клетки обычно прикрепляются к субстрату с помощью слизистых стебельков, служащих, в том числе, для ступенчатого передвижения. Подобные слизистые органы могут сохраняться только в редких случаях.

Для десмидиевых характерно наличие полового размножения по типу коньюгации (см. рис. 6). Зигота образуется в результате слияния безжгути-

ковых апланогамет. Предшествует слиянию образование копулирующими клетками цитоплазматических бугорков, которые растут навстречу друг другу, образуя копуляционный канал. Через некоторое время в месте канала происходит слияние протопластов, образуется зигота, отделяющаяся от пустых оболочек слившихся гамет. Пустые оболочки спаренных клеток морфологически напоминают «лодочки», благодаря чему могут быть сопоставлены с M аналогичной формы. Сонахождение «лодочек» с другими формами позволяет предположить их систематическое сродство и, отсюда, присутствие в осадке остатков разных стадий развития десмидиевых водорослей. Здесь, как и во многих случаях с водорослями, скорее всего, наблюдаются полиморфные ряды, обусловленные меняющимися условиями среды и функциональным строением форм разных стадий репродуктивного цикла [Жизнь растений..., 1977]. Известно, что при прорастании зиготы и при вегетативном делении она становится многослойной и плотной, и при этом часто образуются отклонения очертаний клеток от нормальных, когда она может приобретать разные причудливые формы.

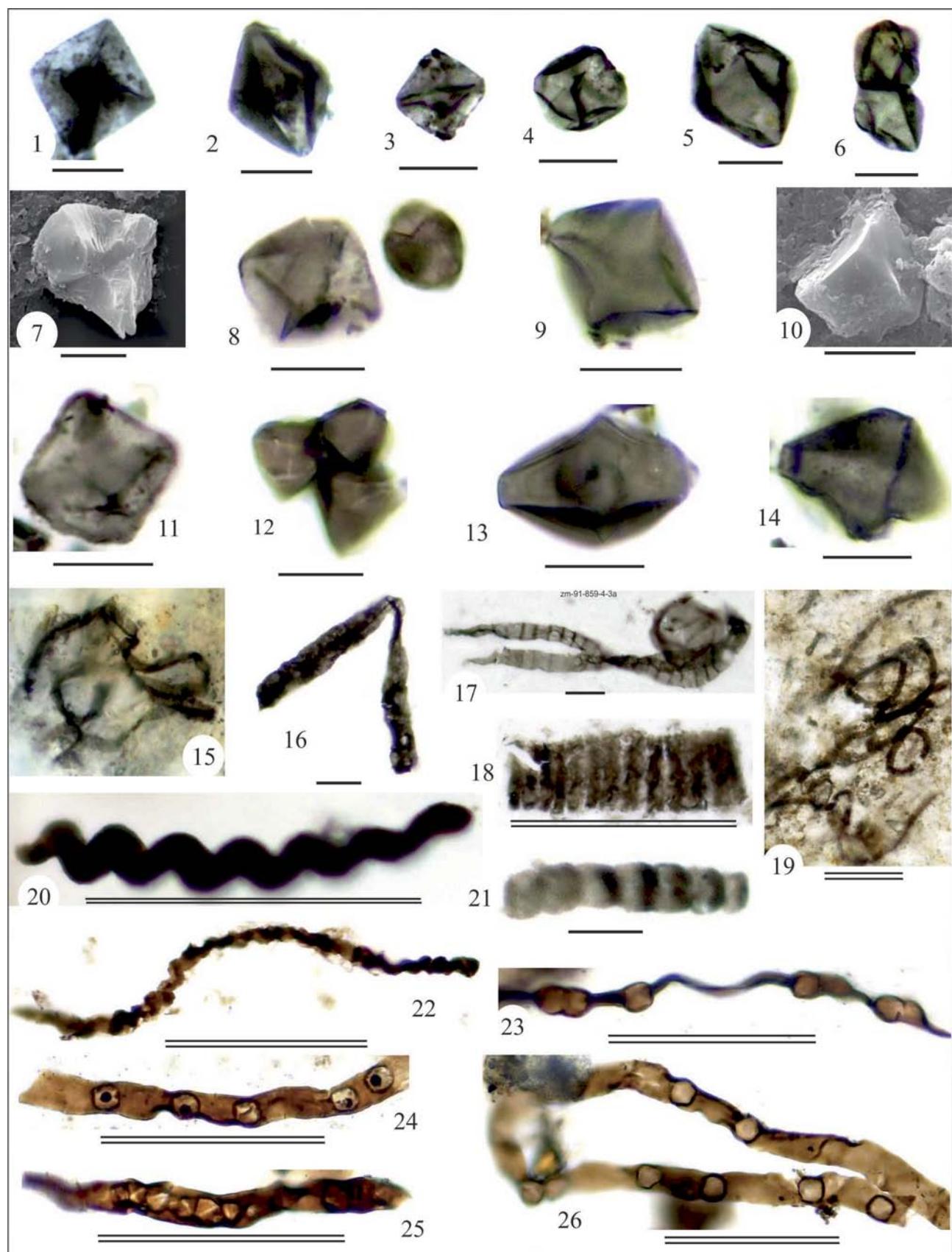
Большинство вышеописанных M было получено при растворении аргиллитов. Но перед процессом мацерации из проб были сделаны петрографические шлифы (табл. VI). В них было обнаружено практически сходное с препаратами разнообразие видов. При этом наблюдались мелкие ожелезненные M, имеющие кристаллографические очертания (табл. VI, фиг. 16–18). Не исключено, что эти формы имеют симбиотическую или ранне-диагенетическую связь с минералами железа.

Палеонтологические таблицы Plates

Материал хранится в Институте земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук в г. Иркутске. Источники изображений: биологические препараты (преп.), петрографические шлифы (шл.), сканирующие электронные микроскопы (СК). Размерные линейки: одинарная — 10 мкм, двойная — 50 мкм, тройная — 100 мкм.

The material is housed in the Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the RAS (Irkutsk). Origins of the images: biological preparations (prep.), petrographic thin-sections (ths.), scanning electron microscopes (CK). Scale sizes: line — 10 μm , double-line — 50 μm , threefold-line — 100 μm .

Таблица (Plate) I



Объяснение Таблицы I

Фиг. 1–3, 5, 6, 8, 9, 11, 13. *Octoedrixium truncatum* Rudavskaja. Фиг. 1 — преп. № 34-1-19; фиг. 2 — преп. № 34-1-10; фиг. 3 — преп. № 448-1-21a; фиг. 5 — преп. № 448-1-5a; фиг. 6 — преп. № 448-1-1; фиг. 8 — преп. № 882-3-2a; фиг. 9 — преп. № 882-3-3; фиг. 11 — преп. № 872-1-13 (A5); фиг. 13 — преп. № 881-3-2 (A7).

Фиг. 4. *Octoedrixium nefstelenicum* (Rudavskaja). Преп. № 448-2/5b.

Фиг. 7, 10, 12, 14. *Octoedrixium* div. sp. Фиг. 7 — № 119-3-L15 (CK); фиг. 10 — № 119-3-L17 (CK); фиг. 12 — преп. № 882-6-7; фиг. 14 — преп. № 870-3-7 (A-1).

Фиг. 15, 16, 19. Осцилляториевые трихомы. Фиг. 15 — шл. № 9-1-5a; фиг. 16 — преп. № 872-7-2; фиг. 19 — шл. № 11-1-1a.

Фиг. 17. *Tortunema* div. sp. Преп. № 859-4-3a.

Фиг. 18. *Calyptothrix deminata* Jankauskas. Преп. № 866-4-9.

Фиг. 20. *Heliconema turukhanica* Hermann. Преп. № 863-4-17.

Фиг. 21. *Arctacellularia* sp. Преп. № 865-7-19a.

Фиг. 22. *Heliconema* sp. Преп. № 893-3-17-1.

Фиг. 23–26. Нити гормогониевых цианофитов. Преп. № 891 (2, 3).

Байкальская складчатая область (БСО): фиг. 1 — р. Вача, аунакитская свита; фиг. 2, 3 — р. Бодайбинка, илигирская свита; фиг. 4–6 — р. Ондоко, ондокская свита; фиг. 7, 10 — р. Бирюса, удинская свита. **Южный Урал (ЮУ):** фиг. 8, 9, 12–14 — р. Реветь, авзянская свита; фиг. 11 — р. Бол. Авзян, авзянская свита; фиг. 15 — р. Мал. Инзер, зильмердакская свита; фиг. 16 — р. Мал. Авзян, авзянская свита; фиг. 18–22 — р. Бол. Шишеняк, инзерская свита; фиг. 17 — р. Шура, зильмердакская свита; фиг. 23–26 — р. Басу, укская свита.

Explanation of Plate I

Fig. 1–3, 5, 6, 8, 9, 11, 13. *Octoedrixium truncatum* Rudavskaja. 1 — prep. No. 34-1-19; 2 — prep. No. 34-1-10; 3 — prep. No. 448-1-21a; 5 — prep. No. 448-1-5a; 6 — prep. No. 448-1-1; 8 — prep. No. 882-3-2a; 9 — prep. No. 882-3-3 (A7); 11 — prep. No. 872-1-13 (A5); 13 — prep. No. 881-3-2 (A7).

Fig. 4. *Octoedrixium nefstelenicum* (Rudavskaja). prep. No. 448-2/5b.

Fig. 7, 10, 12, 14. *Octoedrixium* div. sp. 7 — No. 119-3-L15 (CK); 10 — No. 119-3-L17 (CK); 12 — prep. No. 882-6-7 (A7); 14 — prep. No. 870-3-7 (A-1).

Fig. 15, 16, 19. Oscillatoriace thallomes. 15 — ths. No. 9-1-5a; 16 — prep. No. 872-7-2 (A5); 19 — ths. No. 11-1-1a.

Fig. 17. *Tortunema* div. sp. Prep. No. 859-4-3a (A9).

Fig. 18. *Calyptothrix deminata* Jankauskas. Prep. No. 866-4-9 (A11).

Fig. 20. *Heliconema turukhanica* Hermann. Prep. No. 863-4-17 (A11).

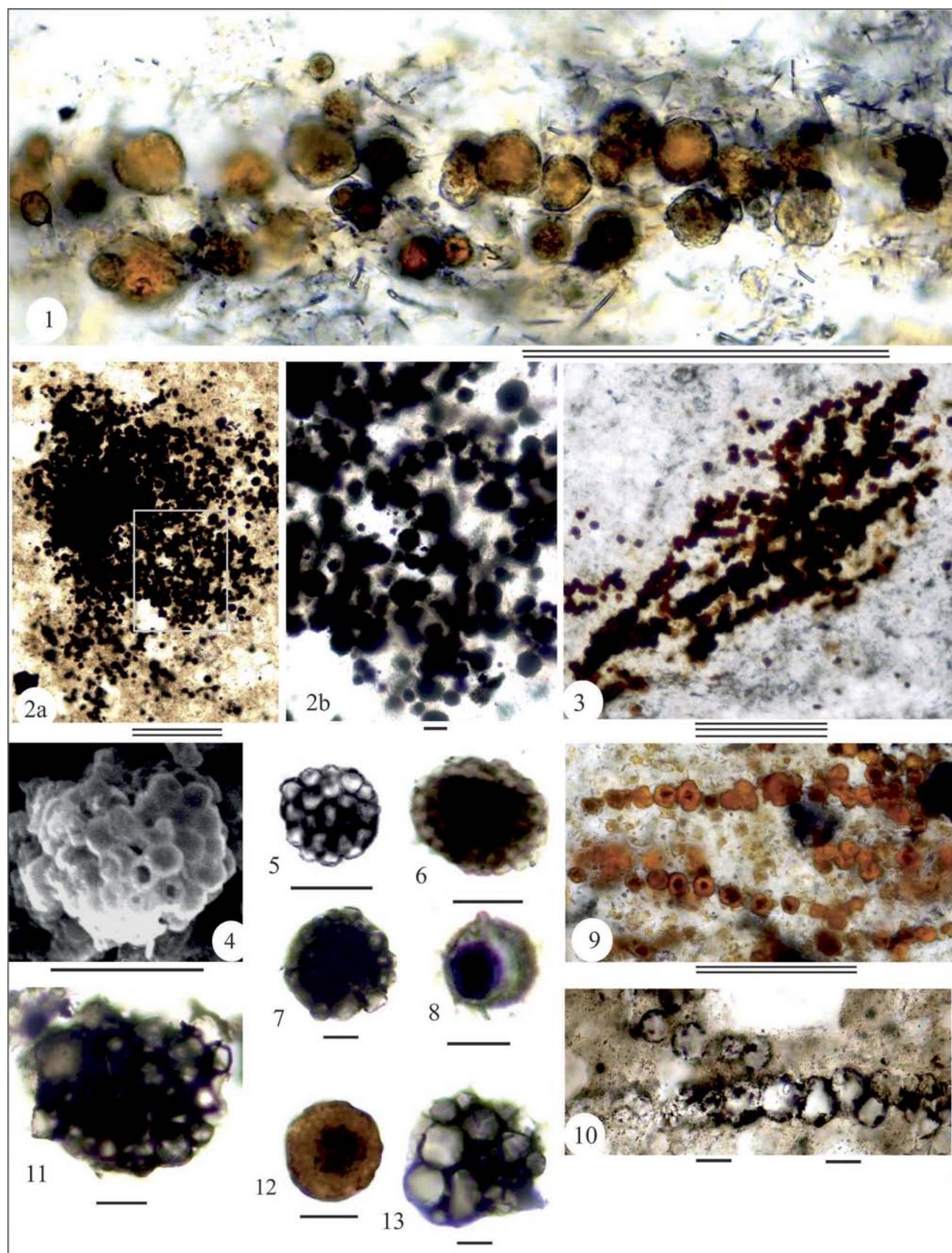
Fig. 21. *Arctacellularia* sp. Prep. No. 865-7-19a (A11).

Fig. 22. *Heliconema* sp. Prep. № 893-3-17-1 (A11).

Fig. 23, 24, 25, 26. Filaments of Hormogonales cyanophytes. Prep. 891 (2, 3) (A10).

Baikal folded area (BFA): 1 — Vacha River, Aunakit Formation; 2, 3 — Bodaibinka River, Iligir Formation; 4–6 — Ondoko River, Ondoko Formation; 7, 10 — Birusa River, Udinsk Formation. **South Ural (SU):** 8, 9, 12–14 — Revet' River, Avzyan Formation; 11 — Bol. Avzyan River, Avzyan Formation; 15 — Mal. Inzer River, Zilmerdak Formation; 16 — Mal. Avzyan River, Avzyan Formation; 18–22 — Bol. Shishenyak River, Inzer Formation; 17 — Shura River, Zilmerdak Formation; 23–26 — Basu River, Uk Formation.

Таблица (Plate) II



Объяснение Таблицы II

Фиг. 1. Слоек, образованный формами (*Bavlinella* div. sp., *Margominuscula* sp., *Nucellospora* div. sp., *Protosphaeridium* div. sp., *Pterospermopsimorpha* (?) div. sp. и др.). Шл. № 692/6-4d.

Фиг. 2. Скопления и цепочки бактериальных форм в алевроаргиллитах. Шл. № 7132-19.

Фиг. 3, 9, 10. Скопления и цепочки бактериальных форм в алевроаргиллитах. Фиг. 3 — шл. № 6-9-1b; фиг. 9 — шл. № 6-9-2f; фиг. 10 — шл. № 6-9-3k.

Фиг. 4—7. *Bavlinella variabilis* (Moorman) emend. Stanevich. Фиг. 4 — № 887 (CK); фиг. 5 — преп. № 99-2/7; фиг. 6 — преп. № 119-115c; фиг. 7 — преп. № 870-8-1 (A-1).

Фиг. 8. *Pterospermopsimorpha salebrosa* (Pychova). Шл. 6-9-1e.

Фиг. 11. *Symplassosphaeridium* sp. Преп. № 87-8-1.

Фиг. 12. *Bavlinella faveolata* Schepeleva. Преп. № 891-2-25-1 (A-10).

Фиг. 13. *Symplassosphaeridium undosum* Jankauskas. Преп. № 870-4-12.

БСО: 1, 5 — р. Жуя, валюхтинская свита; 2 — р. Бол. Чуя, валюхтинская свита; 4 — р. Бол. Якорь, якорная свита; 6 — р. Келяна, усть-келянская свита. **ЮУ:** 3, 7—11 — р. Бол. Авзян, авзянская свита; 12 — р. Басу, укская свита; 13 — р. Мал. Инзер, авзянская свита.

Explanation of Plate II

Fig. 1. Layer formed by the forms (*Bavlinella* div. sp., *Margominuscula* sp., *Nucellospora* div. sp., *Protosphaeridium* div. sp., *Pterospermopsimorpha* (?) div. sp. et al.). Ths. No. 692/6-4d.

Fig. 2. Accumulations and chains of the bacteria in aleurite-argillites. Ths. No. 7132-19.

Fig. 3, 9, 10. Accumulations and chains of the bacteria in aleurite-argillites. 3 — ths. No. 6-9-1b; 9 — ths. No. 6-9-2f; 10 — ths. No. 6-9-3k.

Fig. 4, 5, 6, 7. *Bavlinella variabilis* (Moorman), emend. Stanevich. 4 — No. 887 (CK); 5 — prep. No. 99-2/7; 6 — prep. No. 119-115c; 7 — prep. No. 870-8-1 (A-1).

Fig. 8. *Pterospermopsimorpha salebrosa* (Pychova). Ths. No. 6-9-1e.

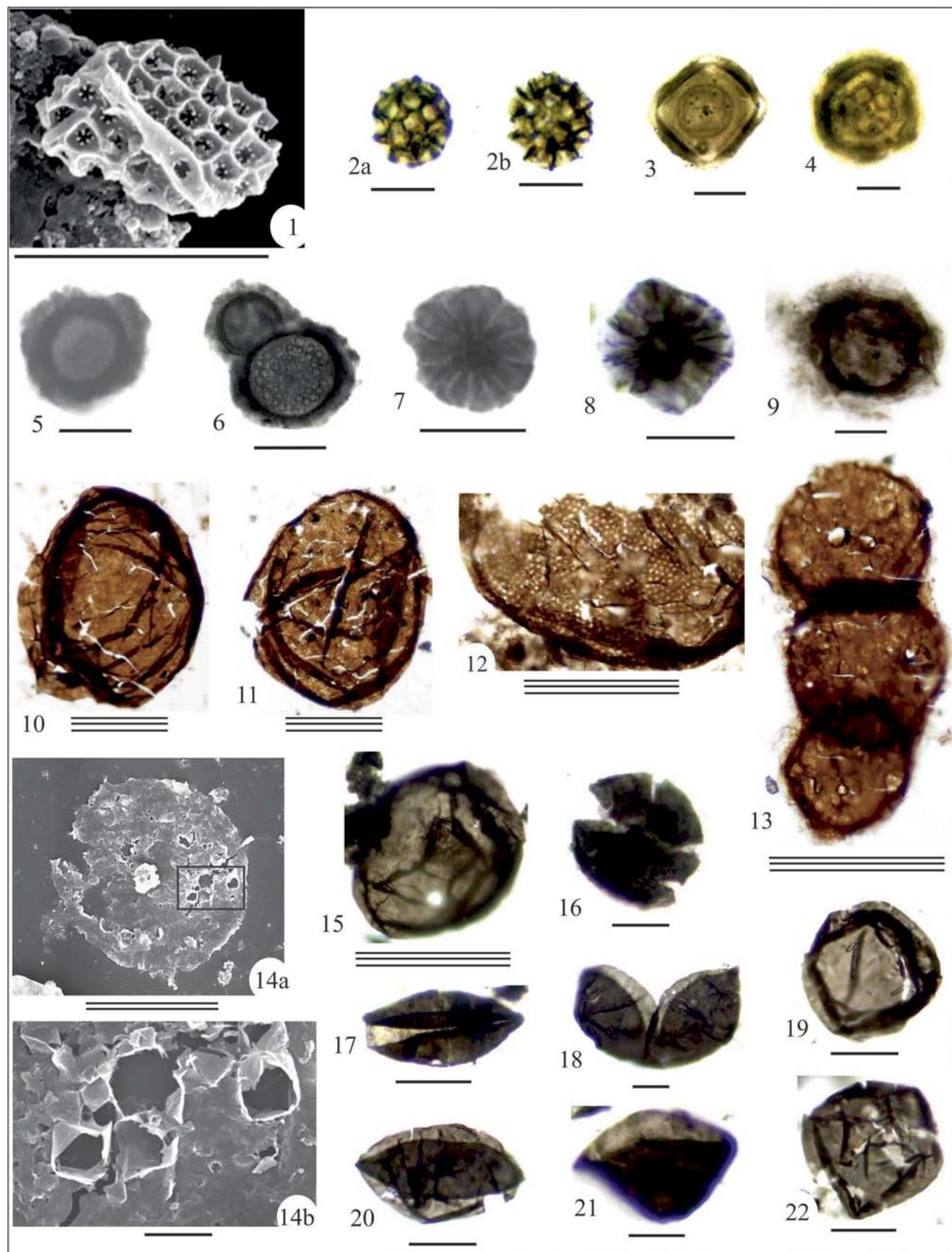
Fig. 11. *Symplassosphaeridium* sp. Prep. No. 87-8-1.

Fig. 12. *Bavlinella faveolata* Schepeleva. Prep. No. 891-2-25-1 (A-10).

Fig. 13. *Symplassosphaeridium undosum* Jankauskas. Prep. No. 870-4-12.

BFA: 1, 5 — Zhuya River, Valyukhta Formation; 2 — Bol. Chuya River, Valyukhta Formation; 4 — Bol. Yakor' River, Yakor Formation; 6 — Kelyana River, Ust'kelyana Formation. **SU:** 3, 7—11 — Avzyan River, Avzyan Formation; 12 — Basu River, Uk Formation; 13 — Mal. Inzer River, Avzyan Formation.

Таблица (Plate) III



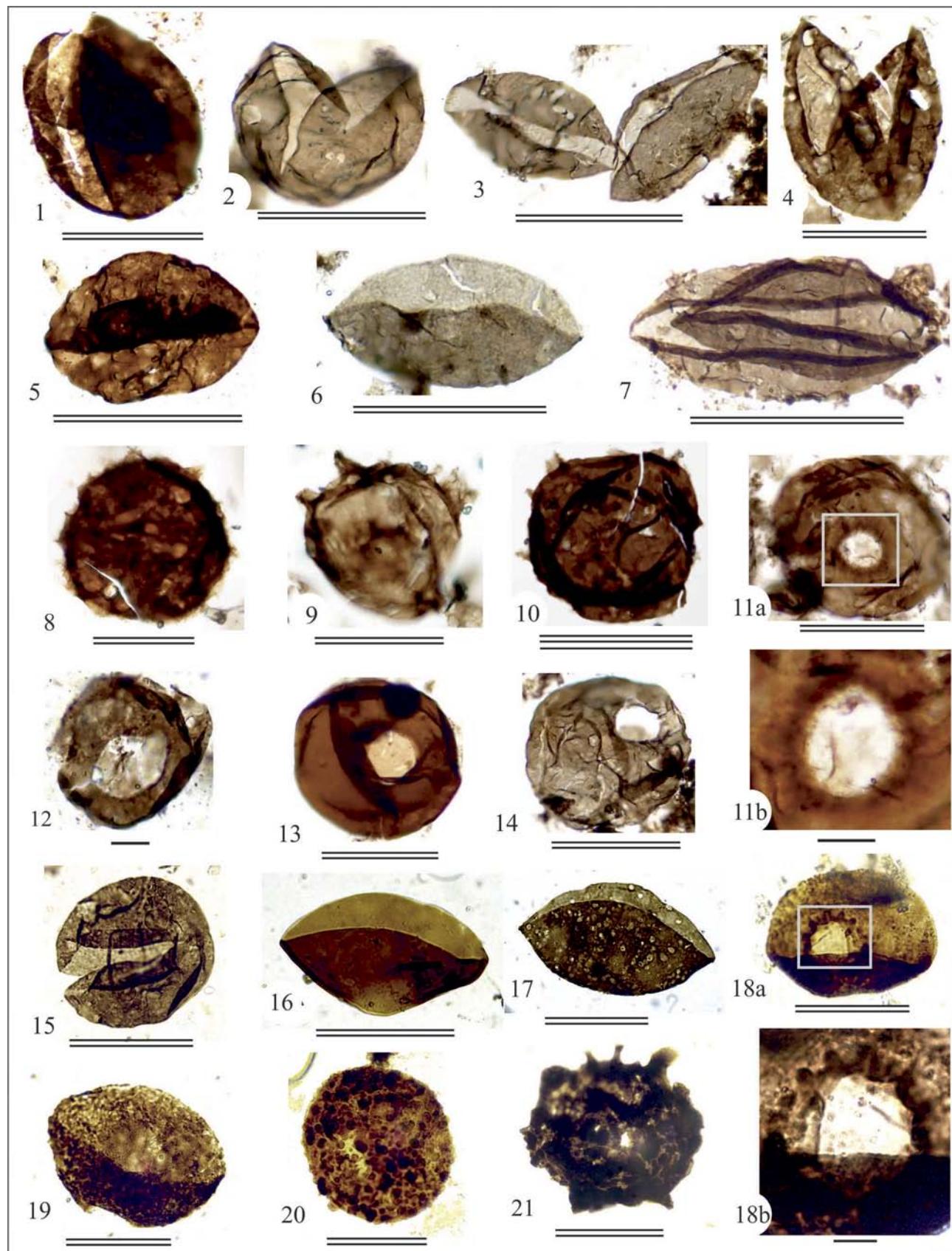
Объяснение Таблицы III

- Фиг. 1, 2.** *Dictyotidium minor* Stanevich. Фиг. 1 — № 386 (CK), форма с выростами клеточной оболочки; фиг. 2 — голотип, преп. № 386-1/7.
- Фиг. 3.** *Centrum quadratum* Stanevich. Голотип, преп. № 389-1/14.
- Фиг. 4.** *Tchuja granosa* Stanevich. Голотип, преп. № 388-2/2.
- Фиг. 5.** *Bailikania foveolata* Trestshetenkova. Преп. № 377-2/11.
- Фиг. 6.** *Retiforma tolparica* Mikhailova. Преп. № 476-4/2.
- Фиг. 7.** *Paracrassosphaera actinomorpha* Trestshetenkova. Голотип, преп. № 377-2/8.
- Фиг. 8.** *Radiata costata* Stanevich. Преп. № 882-4-5 (A-7).
- Фиг. 9.** *Retiforma tolparica* Mikhailova. Преп. № 855-2a-3 (A-4).
- Фиг. 10, 11.** *Leiosphaeridi jacutica* (Timofeev) Mikhailova. Преп. №№ 861-2-2, 861-6-13а (A-11-2).
- Фиг. 12.** *Tasmanites cf ripheicus* Jankauskas. Преп. № 893-5-10a.
- Фиг. 13.** *Simia annulare* (Timofeev) Mikhailova. Преп. № 863-6-9 (A-11-4).
- Фиг. 14.** *Leiosphaeridia* div. sp. № 130/6-L01, L02(CK), а — фрагмент формы со следами прорастания кристаллов пирита (?).
- Фиг. 15.** *Leiosphaeridia atava* (Naumova) Jankauskas. Преп. № 872-1-8 (A-5-2).
- Фиг. 16.** *Leiosphaeridia ternata* (Timofeev) Mikhailova et Jankauskas. Преп. № 888-2-9 (A-6-14).
- Фиг. 17, 18, 20, 21.** *Leiosphaeridia bircrura* Jankauskas. Фиг. 17 — преп. № 882-3-11 (A-7), фиг. 18 — преп. № 872-10-7 (A-5), фиг. 20 — преп. № 882-1-7-2 (A-7-4), фиг. 21 — преп. № 882-8-10 (A-7-4).
- Фиг. 19, 22.** *Leiosphaeridia crassa* (Naumova) Jankauskas. Преп. №№ 884-2-1,2 (A-7-6).
- БСО:** фиг. 1—4 — р. Бол. Чуя, ченчинская свита; фиг. 5—7 — р. Голоустная, ушаковская свита; фиг. 14 — р. Бирюса, ипситская свита. **ЮУ:** фиг. 8, 17, 19—22 — р. Реветь, авзянская свита, фиг. 9 — р. Мал. Инзер, зильмердакская свита, фиг. 10—13 — р. Бол. Шишеняк, инзерская свита, фиг. 15 — р. Мал. Инзер, авзянская свита, фиг. 16, 18 — р. Бол. Авзян, авзянская свита.

Explanation of Plate III

- Fig. 1, 2.** *Dictyotidium minor* Stanevich. 1 — No. 386 (CK), form with internal kips of cellular shell; 2 — holotype, prep. No. 386-1/7.
- Fig. 3.** *Centrum quadratum* Stanevich. Holotype, prep. No. 389-1/14.
- Fig. 4.** *Tchuja granosa* Stanevich. Holotype, prep. No. 388-2/2.
- Fig. 5.** *Bailikania foveolata* Trestshetenkova. Prep. No. 377-2/11.
- Fig. 6.** *Retiforma tolparica* Mikhailova. Prep. No. 476-4/2.
- Fig. 7.** *Paracrassosphaera actinomorpha* Trestshetenkova. Holotype, prep. No. 377-2/8.
- Fig. 8.** *Radiata costata* Stanevich. Prep. No. 882-4-5 (A-7).
- Fig. 9.** *Retiforma tolparica* Mikhailova. Prep. No. 855-2a-3 (A-4).
- Fig. 10, 11.** *Leiosphaeridi jacutica* (Timofeev), emend. Mikhailova. Prep. No.№ 861-2-2, 861-6-13а (A-11-2).
- Fig. 12.** *Tasmanites cf ripheicus* Jank. Prep. No. 893-5-10a.
- Fig. 13.** *Simia annulare* (Timofeev) Mikhailova. Prep. No. 863-6-9 (A-11-4).
- Fig. 14.** *Leiosphaeridia* div. sp. No. 130/6-L01, L02 (CK), a —fragment of the form with traces of pyrite (?) intergrowth.
- Fig. 15.** *Leiosphaeridia atava* (Naumova) Jankauskas. Prep. No. 872-1-8 (A-5-2).
- Fig. 16.** *Leiosphaeridia ternata* (Timofeev) Mikhailova et Jankauskas. Prep. No. 888-2-9 (A-6-14).
- Fig. 17, 18, 20, 21.** *Leiosphaeridia bircrura* Jankauskas. 17 — prep. No. 882-3-11 (A-7), 18 — prep. No. 872-10-7 (A-5), 20 — prep. No. 882-1-7-2 (A-7-4), 21 — prep. No. 882-8-10 (A-7-4).
- Fig. 19, 22.** *Leiosphaeridia crassa* (Naumova). Prep. No.№ 884-2-1,2 (A-7-6).
- BFA:** 1—4 — Bol. Chuya River, Chencha Formation; 5—7 — Goloustnaya River, Ushakovskaya Formation; 14 — Biryusa River, Ipsit Formation. **SU:** 8, 17, 19—22 — Revet' River, Avzyan Formation; 9 — Mal. Inzer River, Zilmerdak Formation; 10—13 — Bol. Shishenyak River, Inzer Formation; 15 — Mal. Inzer, Avzyan Formation; 16, 18 — Bol. Avzyan River, Avzyan Formation.

Таблица (Plate) IV



Объяснение Таблицы IV

Фиг. 1–7, 15–17. *Leiosphaeridia bicrura* Jankauskas. Фиг. 1, 4 — преп. № 893-12-1 (A-11-5), фиг. 2 — преп. № 893-2-1 (A-11-5), фиг. 3 — преп. № 940-1-16 (1210-5), фиг. 5 — преп. № 891-2-1 (A-10-3), фиг. 6 — преп. № 937-4-8-3 (1210-1), фиг. 7 — преп. № 940-3-12-1а (1210-5), фиг. 15 — преп. № 755-B9, фиг. 16 — преп. № 745-A5, фиг. 17 — преп. № 744-B11.

Фиг. 8, 20, 21. *Lophosphaeridium insuetum* Stanevich. Фиг. 8 — преп. № 863-4-13с (A-11-4), фиг. 20 — преп. № 753-V4b, фиг. 21 — преп. № 756-V19a.

Фиг. 9, 10. *Trachyhystrichosphaera* sp. Преп. №№ 865-16-6а, 865-12-4 (A-11-7).

Фиг. 11–14, 18. *Leiosphaeridia kulgunica* Jankauskas. Фиг. 11 — преп. № 893-5-1 (A-11-5), фиг. 12 — преп. № 891-2-5-1 (A-10-3), фиг. 13 — преп. № 893-5-2 (A-11-5), фиг. 14 — преп. № 940-1-14-1 (1210-5), фиг. 18 — преп. № 751-A46.

Фиг. 19. *Leiosphaeridia* sp. (ad lib. *Lophosphaeridium* sp.). Преп. № 748-Б17а.

ЮУ: фиг. 1–4, 6–11, 13, 14 — р. Бол. Шишеняк, инзерская свита, фиг. 5, 12 — р. Басу, укская свита. **Анабаро-Оленекский регион (АОР):** фиг. 15, 17–21 — р. Сололи, арымская свита, фиг. 16 — р. Очугуй-Сололи, дебенгдинская свита.

Explanation of Plate IV

Fig. 1–7, 15–17. *Leiosphaeridia bicrura* Jankauskas. 1, 4 — prep. No. 893-12-1 (A-11-5), 2 — prep. No. 893-2-1 (A-11-5), 3 — prep. No. 940-1-16 (1210-5), 5 — prep. No. 891-2-1 (A-10-3), 6 — prep. No. 937-4-8-3 (1210-1), 7 — prep. No. 940-3-12-1а (1210-5), 15 — prep. No. 755-B9, 16 — prep. No. 745-A5, 17 — prep. No. 744-B11.

Fig. 8, 20, 21. *Lophosphaeridium insuetum* Stanevich. 8 — prep. No. 863-4-13с (A-11-4), 20 — prep. No. 753-V4b, 21 — prep. No. 756-V19a.

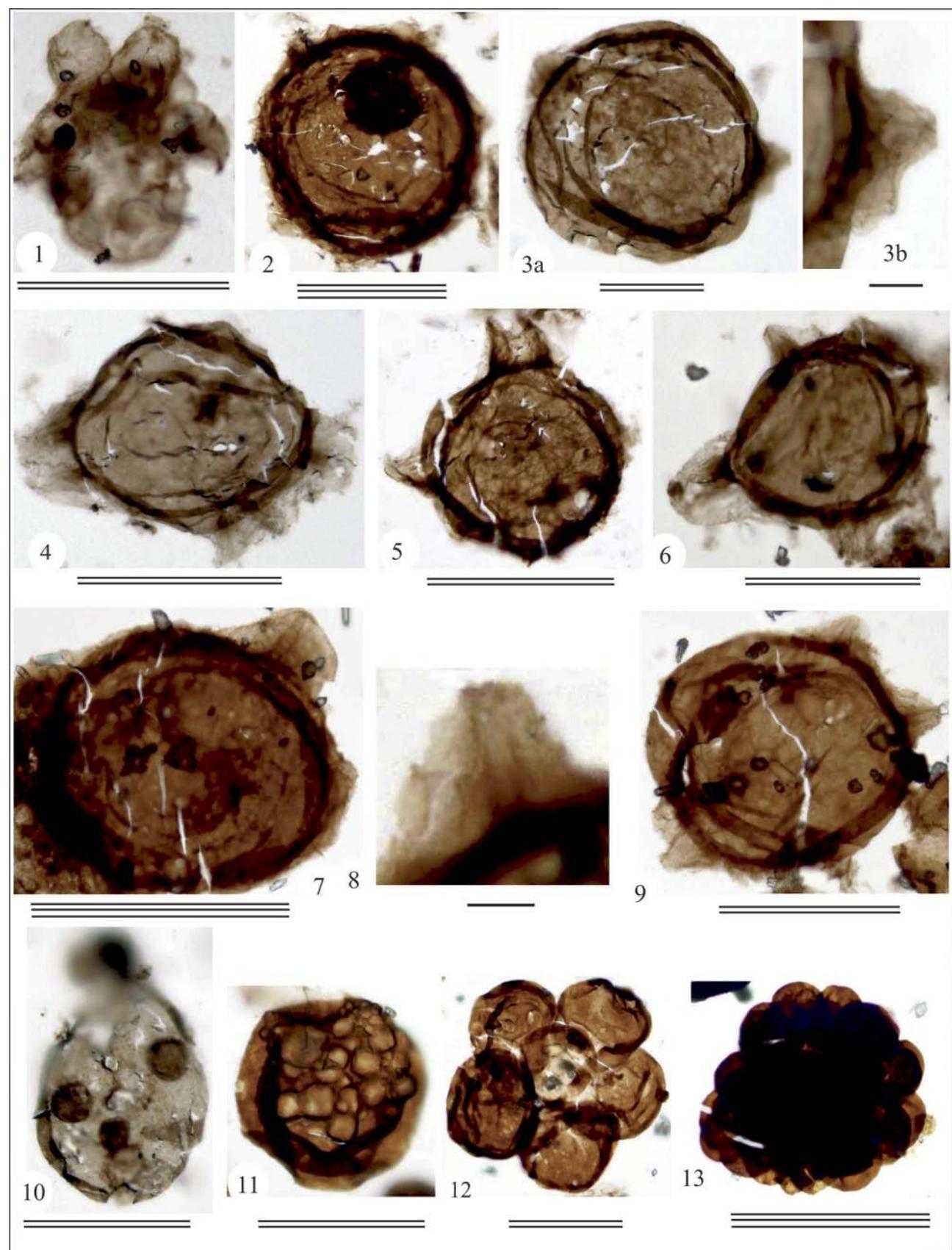
Fig. 9, 10. *Trachyhystrichosphaera* sp. Prep. No.№ 865-16-6а, 865-12-4 (A-11-7).

Fig. 11–14, 18. *Leiosphaeridia kulgunica* Jankauskas. 11 — prep. No. 893-5-1 (A-11-5), 12 — prep. No. 891-2-5-1 (A-10-3), 13 — prep. No. 893-5-2 (A-11-5), 14 — prep. No. 940-1-14-1 (1210-5), 18 — prep. No. 751-A46.

Fig. 19. *Leiosphaeridia* sp. (ad lib. *Lophosphaeridium* sp.). Prep. No. 748-Б17а.

SU: 1–4, 6–11, 13, 14 — Bol. Shishenyak River, Inzer Formation; 5, 12 — Basu River, Uk Formation. **Anabar-Olenec area (AOA):** 15, 17–21 — Sololi River, Arymas Formation; 16 — Ochugui-Sololi River, Debengda Formation.

Таблица (Plate) V



Объяснение Таблицы V

Фиг. 1, 3–9. *Germinosphaera* aff. *Jankauskasi*i Butterfield. Фиг. 1 — преп. № 861-5-2b (A-11-2), фиг. 3 — преп. № 863-5-2 (A-11-4), фиг. 4 — преп. № 863-2-2 (A-11-4), фиг. 5 — преп. № 866-3-2a (A-11-8), фиг. 6 — преп. № 865-10-10 (A-11-7), фиг. 7 — преп. № 865-6-21 (A-11-7), фиг. 8 — преп. № 865-4-9d (A-11-7), фиг. 9 — преп. № 865-4-9b (A-11-7).

Фиг. 2. *Trachyhystrichosphaera aimika* Hermann. Преп. № 863-8-11a (A-11-4).

Фиг. 10. *Incertae Sedis*. Преп. № 861-3a-7 (A-11-2).

Фиг. 11. *Leiosphaeridia* sp. (ad lib. *Symplassosphaeridium* sp.). Преп. № 863-8-4 (A-11-4).

Фиг. 12, 13. *Symplassosphaeridium* div sp. Преп. №№ 865-1-2, 865-10-2 (A-11-7).

ЮУ: фиг. 1–13 — р. Бол. Шишеняк, инзерская свита.

Explanation of Plate V

Fig. 1, 3–9. *Germinosphaera* aff. *Jankauskasi*i Butterfield. 1 — prep. No. 861-5-2b (A-11-2), 3 — prep. No. 863-5-2 (A-11-4), 4 — prep. No. 863-2-2 (A-11-4), 5 — prep. No. 866-3-2a (A-11-8), 6 — prep. No. 865-10-10 (A-11-7), 7 — prep. No. 865-6-21 (A-11-7), 8 — prep. No. 865-4-9d (A-11-7), 9 — prep. No. 865-4-9b (A-11-7).

Fig. 2. *Trachyhystrichosphaera aimika* Hermann. Prep. No. 863-8-11a (A-11-4).

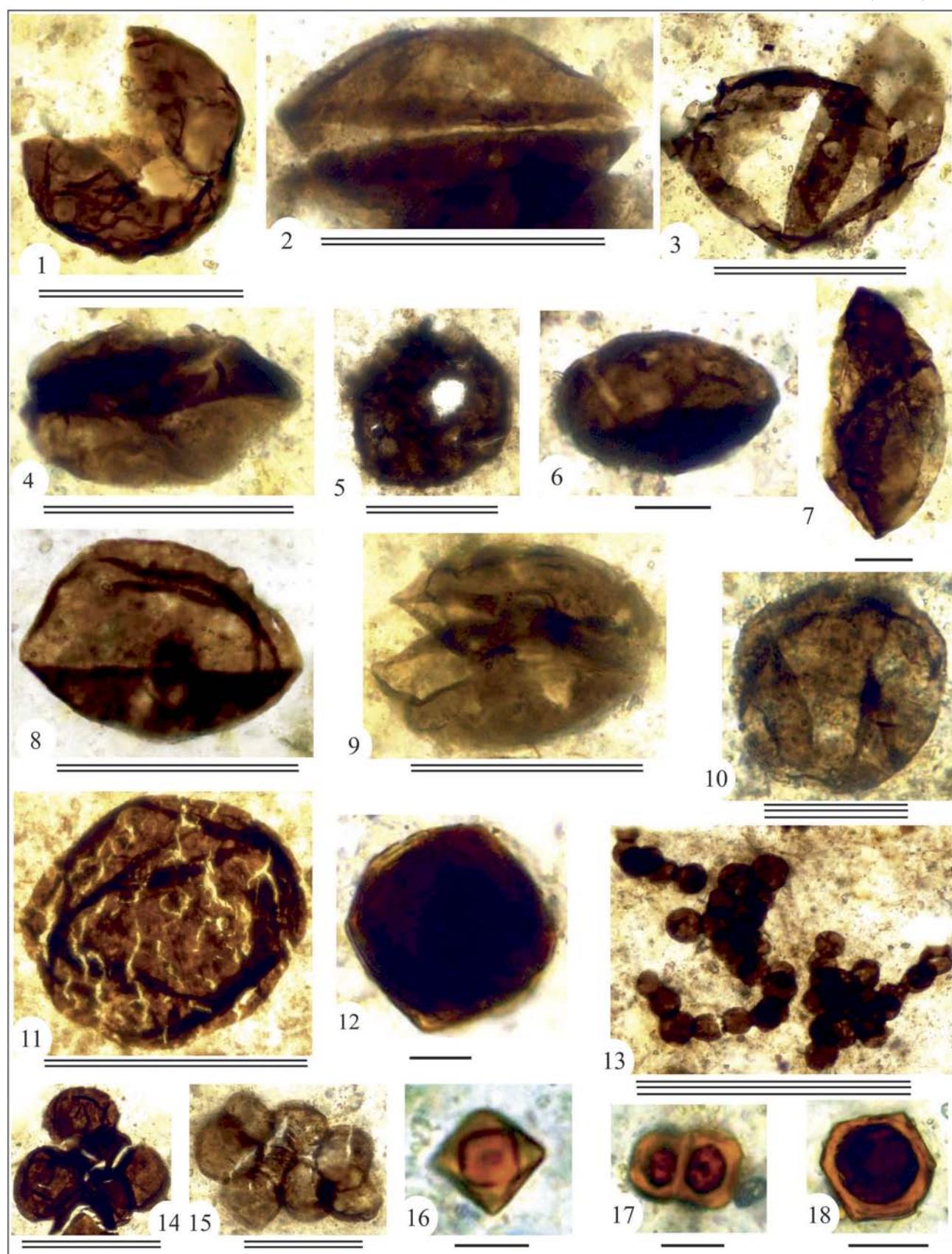
Fig. 10. *Incertae Sedis*. Prep. No. 861-3a-7 (A-11-2).

Fig. 11. *Leiosphaeridia* sp. (ad lib. *Symplassosphaeridium* sp.). Prep. No. 863-8-4 (A-11-4).

Fig. 12, 13. *Symplassosphaeridium* div sp. Prep. No. No. 865-1-2, 865-10-2 (A-11-7).

SU: 1–13 — Bol. Shishenyak River, Inzer Formation.

Таблица (Plate) VI



Объяснение Таблицы VI

Формы микрофоссилий в шлифах алевроаргиллитов.

Фиг. 1–4, 6–9. *Leiosphaeridia bicrura* Jankauskas. Фиг. 1 — шл. № 1210-2d-6-2b, фиг. 2 — шл. № 1210-2e-1-2, фиг. 3 — шл. № 1210-1b-13, фиг. 4 — шл. № 1210-1d-4a. Фиг. 6 — шл. № 1210-1a-3-1a, фиг. 7 — шл. № 1210-b-1-4b, фиг. 8 — шл. № 11-1-6a, фиг. 9 — шл. № 1210-2c-5.

Фиг. 5. *Leiosphaeridia kulgunica* Jankauskas. Преп. № 893-5-1.

Фиг. 10. *Leiosphaeridia* div. sp. Шл. № 1210-2b-3-2e.

Фиг. 11. *Leiosphaeridia* cf. *crassa* (Naumova) Jankauskas. Шл. № 1210-2d-2-2.

Фиг. 12. *Pterospermopsimorpha* sp. Шл. № 1210-2c-1-4.

Фиг. 13. Скопления и цепочки бактериальных форм в алевроаргиллитах. Шл. № 1210-1-c9-c.

Фиг. 14, 15. *Synsphaeridium* Eisenack. Шл. №№ 1210-1b-12 (1a-b-2).

Фиг. 16, 18. *Octoedrixium* (?) sp. Железосодержащие (красные) бактериальные образования в алевроаргиллитах. Шл. № 1210-2b-3-2 (1-c9-c).

Фиг. 17. Деление (?) железосодержащей (красная) бактериальной клетки. Шл. № 1210-1-c9-g.

ЮУ: фиг. 1–18 — р. Бол. Шишеняк, инзерская свита.

Explanation of Plate VI

Microfossils in thin-section of aleurite-argillites.

Fig. 1–4, 6–9. *Leiosphaeridia bicrura* Jankauskas. 1 — ths. No. 1210-2d-6-2b, 2 — ths. No. 1210-2e-1-2, 3 — ths. No. 1210-1b-13, 4 — ths. No. 1210-1d-4a. 6 — ths. 1210-1a-3-1a, 7 — ths. No. 1210-b-1-4b, 8 — ths. No. 11-1-6a, 9 — ths. № 1210-2c-5.

Fig. 5. *Leiosphaeridia kulgunica* Jankauskas. Prep. No. 893-5-1.

Fig. 10. *Leiosphaeridia* div. sp. Ths. No. 1210-2b-3-2e.

Fig. 11. *Leiosphaeridia* cf. *crassa* (Naumova) Jankauskas. Ths. No. 1210-2d-2-2.

Fig. 12. *Pterospermopsimorpha* sp. Ths. No. 1210-2c-1-4.

Fig. 13. Accumulations and chains of the bacteria in aleurite-argillites. Ths. No. 1210-1-c9-c.

Fig. 14, 15. *Synsphaeridium* Eisenack. Ths. No.№ 1210-1b-12 (1a-b-2).

Fig. 16, 18. *Octoedrixium* (?) sp. Iron-bearing (red) bacterial forms in aleurite-argillites. Ths. No. 1210-2b-3-2 (1-c9-c).

Fig. 17. Fission (?) iron-bearing (red) bacterial form. Ths. No. 1210-1-c9-g.

SU: 1–8 — Bol. Shishenyak River, Inzer Formation.

Заключение

Несмотря на дискуссионность части выше-приведенных актуапалеонтологических сравнений, обнаруженные органостенные М представляют собой остатки различных биологических групп. Видно, что многие формы акритарх по разным признакам можно относить к разным родовым таксонам. Поэтому в таких случаях предлагается пользоваться межродовым таксоном. Его применение не противоречит Международному Кодексу ботанической номенклатуры и повышает объективность будущих палеобиологических интерпретаций таксонов акритарх. Ввиду значительной изученности, отнесение трихом и части спиральных форм к цианобактериальному сообществу практически не вызывает сомнений. Более спорным выглядит параллелизация акритарх разных родов с зелеными водорослями порядка десмидевых. Набор наблюдаемых признаков и их вероятное функциональное назначение, наличие переходных морфотипов между акритархами разных родов, а также отсутствие таких переходов между этой группой и другими акритархами позволяют говорить о предложенном варианте интерпретации как о наиболее вероятном. В отличие от форм цианобактериального сообщества, акритархи, как относимые к зеленым водорослям, так и совместно с крупными слоевищами сопоставляемые с бурыми водорослями, скорее всего, заселяли преимущественно мелководные участки силикоэластического осадконакопления. Они вели бентосный и факультативно бентосный образ жизни.

Учитывая имеющуюся тенденцию удревнения возрастных оценок сложных морфотипов, а также современный взгляд на время появления основных типов эукариотных организмов в докембрии, можно сделать вывод о преждевременности применения многих известных форм докембрийских акритарх для целей прямого определения возраста отложений без учета всей совокупности геологических и геохронологических данных. Данная проблема по мере накопления фактического материала может решаться комплексно, с использованием палеоэкологических, тафономических, актуалистических методов (палеобиологических реконструкций) для обоснования филогенетических групп и последующего установления в их пределах эволюционных морфологических изменений. Авторы статьи надеются, что основой выделения групп родственных организмов могут стать и интерпретационные подходы, продемонстрированные в данной статье.

Последующие находки сходных ассоциаций форм на других стратиграфических уровнях и построение аналогичных морфологических рядов могут дать возможность сравнения и установления возрастных изменений в ассоциации форм, относимых к одной биологической группе. Не исключено, что такие сравнения могут показать ту или иную степень ошибочности сделанных выше заключений.

Исследования проведены в соответствии с планами НИР ИГ УФИЦ РАН (тема гос. задания № 0252-2014-0002) и ИЗК СО РАН (проект ИСГЗ ФАНО — 0346-2016-0003).

Список литературы:

- Ахмедов А.Б., Белова М.Ю., Крупеник В.А., Сидорова И.Н. Микрофоссилии грибной природы из черных сланцев палеопротерозоя Печенгского комплекса (Кольский полуостров) // Докл. РАН. — 2000. — Т. 372, № 5. — С. 646–649.
- Бурзин М.Б. *Tynnia Burzin*, gen. nov. Новый порядок венских колониальных коккоидных органикостенных микрофоссилий // Палеонтол. Журнал. — 1997. — № 2. — С. 20–28.
- Вейс А.Ф., Петров П.Ю. Главные особенности фациально-экологического распределения микрофоссилий в рифейских бассейнах Сибири // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 1994. — Т. 2, № 5. — С. 97–129.
- Вейс А.Ф., Козлова Е.В., Воробьева Н.Г. Органостенные микрофоссилии типового разреза рифея (Южный Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1990. — № 9. — С. 20–36.
- Вейс А.Ф., Петров П.Ю., Воробьева Н.Г. Мироедихинская микробиота верхнего рифея Сибири. Сообщение 2. Интерпретация в терминах биотической палеосукцессии // Стратиграфия. Геол. корреляция. — 1999. — Т. 7, № 1. — С. 18–40.
- Вейс А.Ф., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Воробьева Н.Г. Микрофоссилии типового разреза верхнего рифея (каратауская серия Южного Урала) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. — 2003. — Т. 11, № 6. — С. 20–45.
- Водоросли: Справочник / С.П. Вассер, Н.В. Кондратьева, Н.П. Масюк, Г.М. Паламарь-Мордвинацева, З.И. Ветрова, Е.Л. Кордюм, Н.А. Мошкова, Л.П. Приходькова, О.В. Коваленко, В.В. Ступина, П.М. Царенко, В.П. Юнгер, М.И. Радченко, О.Н. Виноградова, Л.Н. Бухтиярова, Л.Ф. Разумна. — Киев: Наук. Думка, 1989. — 608 с.
- Волкова Н.А. О природе и классификации микрофоссилий растительного происхождения из докембра и нижнего палеозоя // Палеонтол. журн. — 1965. — № 5. — С. 13–26.
- Воробьева Н.Г., Сергеев В.Н., Чумаков Н.М. Новые находки ранневендинских микрофоссилий в уринской свите: пересмотр возраста Патомского комплекса Средней Сибири // Докл. РАН. — 2008. — Т. 419, № 6 — С. 782–787.
- Геологическая карта Российской Федерации и со-пределной территории Республики Казахстан. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист N-40(41) Уфа / Отв. ред. В.И. Козлов. — СПб: Изд-во картфабрики ВСЕГЕИ, 2002.

- Герман Т.Н.* Находки грибов в рифе // Палеонтология докембрая и раннего кембра. – Л.: Наука, 1979. – С. 129–136.
- Герман Т.Н., Подковыров В.Н.* О находках рифейских диморфных организмов // Палеонтол. журн. – 2002. – № 3. – С. 3–10.
- Герман Т.Н., Подковыров В.Н.* О животной природе позднерифейских *Rugosoopsis* // Палеонтол. журн. – 2005. – № 2. – С. 8–15.
- Гниловская М.Б.* Древнейшие аннелидоморфы из верхнего рифея Тимана // Докл. РАН. – 1998. – Т. 359, № 3. – С. 369–372.
- Гниловская М.Б., Ищенко А.А., Колесников Ч.М., Коренчук Л.В., Удальцов А.П.* Вендотениды Восточно-Европейской платформы. – Л.: Наука, 1988. – 143 с.
- Голубкова Е.Ю., Раевская Е.Г., Кузнецова А.Б.* Нижневендские комплексы микрофоссилий Восточной Сибири в решении стратиграфических проблем региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2010. – Т. 18, № 4. – С. 3–27.
- Жизнь растений. Водоросли. Лишайники / Ред. М.М. Голлербах. – М.: Просвещение, 1977. – Т. 3. – 487 с.
- Жмур С.И., Горленко В.М.* Природа куонамских горючих сланцев кембрая Сибирской платформы // Литология и полезные ископаемые. – 1990. – № 3. – С. 122–126.
- Кеннет Дж.П.* Морская геология: Пер. с англ. В 2 т. – М.: Мир, 1987. – Т. 2. – 384 с.
- Кирьянов В.В.* К вопросу о природе некоторых раннекембрийских сфероморфных акритарх // Актуальные вопросы современной палеоальгологии. – Киев: Наукова думка, 1986. – С. 40–45.
- Козлов В.И.* Верхний рифей и венд Южного Урала. – М.: Наука, 1982. – 128 с.
- Козлов В.И., Краснобаев А.А., Вейс А.Ф.* Стратотип рифея: строение, палеонтологическая характеристика, изотопный возраст // Общие вопросы и принцип расчленения докембрая. – СПб.: Наука, 1994. – С. 133–156.
- Козлов В.И., Краснобаев А.А., Ларионов Н.Н., Маслов А.В., Сергеева Н.Д., Бибикова Е.В., Генина Л.А., Ронкин Ю.Л.* Нижний рифей Южного Урала. – М.: Наука, 1989. – 240 с.
- Козлов В.И., Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Нехорошева А.Г., Бушарина С.В.* Аршиний – новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геологический сборник № 9 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. – С. 3–8.
- Косинская Е. К.* Десмидиевые водоросли. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – Вып. 1. – 217 с.
- Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В.* Новые данные по цирконовой геохронологии аршинских вулканитов (Южный Урал) // Литосфера. – 2012. – № 4. – С. 127–139.
- Краснобаев А.А., Пучков В.Н., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Бушарина С.В., Лепехина Е.Н.* Цирконология навышских вулканитов айской свиты и проблема возраста нижней границы рифея на Южном Урале // Докл. РАН. – 2013. – Т. 448, № 4. – С. 437–442. – doi.org/10.7868/s086956521304021x.
- Курс низших растений / Ред. М.В. Горленко. – М.: Высшая школа, 1981. – 504 с.
- Леин А.Ю., Пименов Н.В., Виноградов М.Е., Иванов М.В.* Скорость CO₂ ассимиляции и бактериальная продукция органического вещества на гидротермальных полях 26° с.ш. и 29° с.ш. Срединноатлантического хребта // Океанология. – 1996. – Т. 37, № 3. – С. 396–407.
- Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В.* Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерагения, геологические памятники природы): В 4 т. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – Т. 1. – 351 с.
- Международный кодекс ботанической номенклатуры (Токийский кодекс, 1993). Перев. с англ. – СПб: Мир и семья–95, 1996. – 191 с.
- Микрофоссилии докембрая СССР / Отв. ред. Т.В. Янкаускас. – Л.: Наука, 1989. – 190 с.
- Михайлова Н.С., Подковыров В.Н.* Микрофитологическая характеристика пограничных горизонтов рифея и венда Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1987. – № 9. – С. 75–83.
- Наумова С.Н.* Споры древних свит западного склона Южного Урала // Бюлл. МОИП. Отд. геол. – 1951. – Т. 26, Вып. 1. – С. 183–187.
- Немиров В.К., Станевич А.М.* Эволюция рифей-вендских обстановок биолитогенеза в бассейнах Байкальской горной области // Геология и геофизика. – 2001. – Т. 42, № 3. – С. 456–470.
- Обстановки осадконакопления и фации: Пер. с англ. В 2 т. / Ред. Х. Рединг. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 352 с. – Т. 2. – 384 с.
- Определитель бактерий Берджи: Пер. с англ. В 2 т. / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита и др. – М.: Мир, 1997. – 800 с.
- Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.
- Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Козлов В.И.* Предварительные данные о возрастных рубежах нео- и мезопротерозоя Южного Урала в свете новых данных U-Pb датировок // Геологический сборник № 6 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: Дизайн ПолиграфСервис, 2007. – С. 3–4.
- Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Сергеева Н.Д.* Обновленная схема расчленения стратотипического разреза рифея // Общая стратиграфическая шкала и методические проблемы разработки региональных стратиграфических шкал России / Т.Ю. Толмачева (отв. ред.): Матер. Межвед. рабочего совещ. Санкт-Петербург, 17–20 окт. 2016. – СПБ: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. – С. 137–139.
- Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А.* Пограничные стратоны рифея и венда на Южном Урале. Дополнения и изменения в региональную стратиграфическую схему // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Матер. и докл. 10-й Межрег. науч.-практ. конф. Уфа, 13–15 мая, 2014. – Уфа: ДизайнПресс, 2014. – С. 77–87.
- Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Шмитц М., Козлов В.И.* Новые U-Pb датировки машакской свиты Ю. Урала и их сравнительная оценка // Геологический сборник № 8 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: Дизайн ПолиграфСервис, 2009. – С. 3–14.

Решения Всесоюзного коллоквиума по растительным микрофоссилиям (акритархам) внутренних (нефтегазоносных) районов Сибирской платформы // Геология и геофизика. – 1986. – № 3. – С. 116–117.

Розанов А.Ю. Бактериальная палеонтология, седиментогенез и ранние стадии эволюции биосферы // Современные проблемы геологии. – М.: Наука, 2004. – С. 427–447. – (Тр. ГИН РАН; Вып. 565).

Семихатов М.А., Раабен М.Е., Сергеев В.Н., Вейс А.Ф., Артемова О.В. Биотические события и положительная изотопная аномалия карбонатного углерода 2.3–2.06 млрд лет назад // Стратиграфия. Геолог. корреляция. – 1999. – Т. 7, № 5. – С. 3–27.

Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М., Беккер Ю.Р., Бибикова Е.В., Дук В.Л., Есипчук К.Е., Карасков Л.П., Киселев В.В., Козлов В.И., Лобач-Жученко С.Б., Негруца В.З., Робонен В.И., Сезько А.И., Филатова Л.И., Хоментовский В.В., Шемякин В.М., Шульдинер В.И. Новая стратиграфическая шкала докембрия СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1991. – № 4. – С. 3–13.

Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии докембрия и кембрия Урала и Средней Азии. – М.: Наука, 1992. – 139 с.

Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация, фациальная приуроченность и биостратиграфическое значение: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / ГИН РАН. – М., 2003. – 54 с.

Сергеев В.Н. Окремненные микрофоссилии докембрия: природа, классификация и биостратиграфическое значение. – М.: ГЕОС, 2006. – 280 с. – (Тр. ГИН РАН; Вып. 567).

Сергеев В.Н., Семихатов М.А., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г. Главные стадии эволюции докембрийского органического мира. 2. Поздний протерозой // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2010. – Т. 18, № 6. – С. 3–34.

Станевич А.М. Морфобиологический аспект эволюции осадконакопления в позднем докембрии Байкальской горной области // Рифей Северной Евразии. Геология. Общие проблемы стратиграфии. – Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – С. 212–217.

Станевич А.М., Файзулина З.Х. Микрофоссилии в стратиграфии позднего докембрия Байкало-Патомской горной области. – М.: Недра, 1992. – 158 с.

Станевич А.М., Немеров В.К., Чатта Е.Н. Микрофоссилии протерозоя Саяно-Байкальской складчатой области. Обстановки обитания, природа и классификация. – Новосибирск: Гео, 2006. – 204 с.

Станевич А.М., Чатта Е.Н., Корнилова Т.А., Немеров В.К. Условия обитания и вероятная природа акритарх из ченчинской свиты позднего рифея // Палеонтол. журн. – 2007. – № 1. – С. 83–89.

Станевич А.М., Максимова Е.Н., Корнилова Т.А., Гладкочуб Д.П., Мазуказзов А.М., Донская Т.В. Микрофоссилии арымасской и дебенгдинской свиты рифея Оленекского поднятия: возраст и предполагаемая природа // Стратиграфия. Геол. корреляция. – 2009. – Т. 17, № 1. – С. 23–40.

Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). – Екатеринбург: Межвед. Стратигр. Комитет России, 1993. – 151 схема.

Тимофеев Б.В. Древняя флора Прибалтики и ее стратиграфическое значение. – Л.: Гостоптехиздат, 1959. – 320 с. – (Тр. ВНИГРИ; Вып. 129).

Тимофеев Б.В. Микропалеофитологическое исследование древних свит. – М.: Наука, 1966. – 147 с.

Тимофеев Б.В. Сфероморфиды протерозоя. – Л.: Наука, 1969. – 146 с.

Трещетенкова А.А., Файзулина З.Х., Широбоков И.М. Растительные микрофоссилии ушаковской свиты Юго-Западного Прибайкалья // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1982. – № 5. – С. 116–121.

Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / АН УССР. Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного. – Киев: Наук. Думка, 1990. – 208 с.

Шлегель Г. Общая микробиология: Пер. с нем. – М.: Мир, 1987. – 567 с.

Шопф Дж.У., Советов Ю.К. Микрофоссилии в строматолитах *Spongiphyton* из венских отложений Южного Казахстана // Докл. АН СССР. – 1976. – Т. 230, № 6. – С. 1448–1450.

Якишин М.С. Водорослевые микрофоссилии из опорного разреза венда Патомского нагорья // Новости палеонтологии и стратиграфии. – 2002. – Вып. 5. – С. 12–31. – (Прилож. к журн. Геология и геофизика. Т. 43).

Янкаускас Т.В. Микрофоссилии рифея Южного Урала // Тр. ГИН АН СССР. 1982. – Вып. 368. – С. 84–120.

Albani A.E., Bengtson S., Canfield D.E., Bekker A., Macchiarelli R., Mazurier A., Hammarlund E.U., Boulvais P., Dupuy J-J., Fontaine C., Fürsich F.T., Gauthier-Lafaye F., Janvier P., Javaux E., Ossa F.O., Pierson-Wickmann A.-C., Ribouleau A., Sardini P., Vachard D., Whitehouse M., Meunier A. Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago // Nature. – 2010. – V. 466. – P. 100–104. – doi.org/10.1038/nature09166.

Algae. An introduction to phycology / C. van den Hoek, D.G. Mann, H.M. Jahns. – Cambridge University Press, 1995. – 627 p.

Arouri K.R., Greenwood P.F., Walter M.R. A possible chlorophycean affinity of some Neoproterozoic acritarchs // Organic Geochemistry. – 1999. – V. 30. – P. 1323–1337. – doi.org/10.1016/s0146-6380(99)00105-9.

Arouri K.R., Greenwood P.F., Walter M.R. Biological affinities of Neoproterozoic acritarchs from Australia: microscopic and chemical characterisation // Organic Geochemistry. – 2000. – V. 31. – P. 75–89. – doi.org/10.1016/s0146-6380(99)00145-x.

Brocks J.J., Logan G.A., Buick R., Summons R.E. Archean molecular fossils and the early rise of eukaryotes // Science. – 1999. – V. 285. – P. 1033–1036. – doi.org/10.1126/science.285.5430.1033.

Butterfield N.J. Bangiomorpha pubescens n. gen., n. sp.: implications for the evolution of sex, multicellularity, and the Mesoproterozoic/Neoproterozoic radiation of eukaryotes // Paleobiology. – 2000. – V. 26 (3). – P. 386–404. – doi.org/10.1666/0094-8373(2000)026<386:bpngns>2.0.co;2.

Butterfield N.J. Paleobiology of the Late Mesoproterozoic (ca. 1200 Ma) Hunting Formation, Somerset Island, arctic Canada // Precambrian Res. – 2001. – V. 111. – P. 235–256. – doi.org/10.1016/s0301-9268(01)00162-0.

- Butterfield N.J.* Probable Proterozoic fungi // *Paleobiology*. – 2005. – V. 31, No. 1. – P. 165–182. – doi.org/10.1666/0094-8373(2005)031<0165:ppf>2.0.co;2.
- Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K.A.* Bangiophyte Red Algae from the Proterozoic of Arctic Canada // *Science. New Series*. – 1990. – V. 250, No. 4977. – P. 104–107. – doi.org/10.1126/science.11538072.
- Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K.* Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfiellet Formation, Spitsbergen. – Oslo; Copenhagen; Stockholm: Scandinavian University Press, 1994. – 84 p. – (Fossils and Strata; V. 34).
- Chen J.-Y., Oliveri P., Li C.-W., Zhou G.-Q., Gao F., Hagadorn J.W., Peterson K.J., Davidson E.H.* Precambrian animal diversity: Putative phosphatized embryos from the Doushantuo Formatio of China // *PNAS*. – 2000. – V. 97, No. 9. – P. 4457–4462. – doi.org/10.1073/pnas.97.9.4457.
- Downie C., Evitt W.R., Sarjeant W.A.S.* Dinoflagellates, hystrichosphaeres and the classification of acritarchs // *Stanford Univ. Publ. in Geol. Sci.* – 1963. – V. 7. – P. 3–16.
- Engels M., Lorch D.W.* Some observations on cell wall structure and taxonomy of *Phymatodocis nordstedtiana* (Conjugatophyceae, Chlorophyta) // *Plant Syst. Evol.* – 1981. – V. 138. – P. 217–225. – doi.org/10.1007/bf00985185.
- Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N.* Geochemical Characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // *Geological Digest* (No. 5). Geol. Innstituti of the Ufimian scientific centre of RAS. – Ufa: Design PoligraphService, 2006. – P. 119–161.
- Evitt W.R.* A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichosphaeres and acritarchs, I // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* – 1963a. – V. 49 (2). – P. 158–164. – doi.org/10.1073/pnas.49.2.158.
- Evitt W.R.* A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichosphaeres and acritarchs, II // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* – 1963b. – V. 49 (3). – P. 298–302. – doi.org/10.1073/pnas.49.3.298.
- Field trip guide: Rephean and Vendian Reference Section of the South Urals / *Yu.R. Bekker, V.I. Kozlov, V.N. Puchkov, M.E. Raaben, N.A. Rumyantseva, V.N. Sergeev.* / Eds: *Yu.R. Bekker, V.I. Kozlov, V.N. Puchkov, S.P. Shokalsky.* – St. Petersburg: VSEGEI OSL, 2006. – 71 p.
- Golubic S.* Organisms that build stromatolites // *Stromatolites*. – Amsterdam: Elsevier, 1976. – P. 113–126. – doi.org/10.1016/s0070-4571(08)71132-4.
- Han T.M., Runnegar B.* Megascopic eukaryotic algae from the 2.1-billion-year-old Negaunee Iron-Formation, Michigan // *Science*. – 1992. – V. 257, No. 5067. – P. 232–235. – doi.org/10.1126/science.1631544.
- Hofmann H.J.* Precambrian microflora, Belcher Islands, Canada: significance and systematics // *J. Paleontol.* – 1976. – V. 50, No. 6. – P. 1040–1073.
- Horodyski R.J.* Paeontology of Proterozoic shales and mudstones: examples from the Belt Supergroup, Chuar Group and Pahrump Group, western USA // *Precambrian Res.* – 1993. – V. 61. – P. 241–278. – doi.org/10.1016/0301-9268(93)90116-j.
- Javaux E.J., Knoll A.H., Walter M.R.* Morphological and ecological complexity in early eukaryotic ecosystems // *Nature*. – 2001. – V. 412. – P. 66–69. – doi.org/10.1038/35083562.
- Javaux E.J., Knoll A.H., Walter M.* Recognizing and interpreting the fossils of early eukaryotes // *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. – 2003. – V. 33. – P. 75–94. – doi.org/10.1023/A:1023992712071.
- Knoll A.H.* The early evolution of eukaryotes: a geological perspective // *Science*. – 1992. – V. 256, No. 5057. – P. 622–627. – doi.org/10.1126/science.1585174.
- Knoll A.H.* Proterozoic and Early Cambrian protists: Evidence for accelerating evolutionary tempo // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* – 1994. – V. 91, No. 15. – P. 6743–6750. – doi.org/10.1073/pnas.91.15.6743.
- Knoll A.H., Sergeev V.N.* Taphonomic and evolutionary changes across the Mesoproterozoic–Neoproterozoic transition // *N. Jb. Geol. Palaont. Abh-Bd.* – 1995. – V. 195, No. 1–3. – P. 289–302. – doi.org/10.1127/njgp/195/1995/289.
- Knoll A.H., Swett K., Mark J.* Paleobiology of a Neoproterozoic tidal flat/lagoonal complex: the Draken Conglomerate Formation, Spitsbergen // *J. Paleontol.* – 1991. – V. 65, No. 4. – P. 531–570. – doi.org/10.1017/s0022336000030663.
- Martin F.* Acritarchs: a review // *Biol. Rev.* – 1993. – V. 68. – P. 475–538.
- Moorman M.* Microbiota of the Late Proterozoic Hector Formation, Southwestern Alberta, Canada // *J. Paleontol.* – 1974. – V. 48, No. 3. – P. 524–540.
- Olson J.M., Blankenship R.E.* Thinking about the evolution of photosynthesis // *Photosynth. Res.* – 2004. – V. 80. – P. 373–386. – doi.org/10.1023/B:PRES.0000030457.06495.83.
- Park N.E., Karol K.G., Hoshaw R.W., McCourt R.M.* Phylogeny of Gonatozygon and Genicularia (Gonatozygaceae, Desmidiales) based on rbcL sequences // *Eur. J. Phycol.* – 1996. – V. 31. – P. 309–313. – doi.org/10.1080/09670269600651531.
- Porter S.M., Knoll A.H.* Testate amoebae in the Neoproterozoic Era: evidence from vase-shaped microfossils in the Chuar Group, Grand Canyon // *Paleobiology*. – 2000 – V. 26 (3). – P. 360–385. – http://dx.doi.org/10.1666/0094-8373(2000)026<0360:TAITNE>2.0.CO;2.
- Puchkov V.N.* Structure and geodynamics of the Uralian orogen // *Orogeny through time: Geological Society Special Publication*. – 1997. – V. 121, No. 1. – P. 201–236. – doi.org/10.1144/gsl.sp.1997.121.01.09.
- Puchkov V.N., Krasnobayev A.A., Sergeeva N.D.* The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stratotype in the Southern Urals, Russia // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. – 2014. – V. 2, No. 3. – P. 108–116. – doi.org/10.4236/gep.2014.23015.
- Samuelsson J., Butterfield N.J.* Neoproterozoic fossils from the Franklin Mountains, northwestern Canada: stratigraphic and palaeobiological implications // *Precambrian Res.* – 2001. – V. 107. – P. 235–251. – doi.org/10.1016/s0301-9268(00)00142-x.
- Samuelsson J., Dawes P.R., Vidal G.* Organic-walled microfossils from the Proterozoic Thule Supergroup, Northwest Greenland // *Precambrian Res.* – 1999. – V. 96. – P. 1–23. – doi.org/10.1016/s0301-9268(98)00123-5.
- Schopf J.W., Dolnik T.A., Krylov J.N., Mendelson G.V., Nasarov B.B., Nyberg A.V., Sovietov G.K., Jakchin M.S.* Six new Stromatolite miorobiotas from the proterozoic of the Soviet Union // *Precambrian Res.* – 1977. – V. 4 (3). – P. 269–284. – doi.org/10.1016/0301-9268(77)90017-1.

- Sedimentary environments and facies / Ed. H.G. Reading. — Dep. Earth Sciences Univ. of Oxford, London, 1986. — V. 1. — 352 p. — V. 2. — 384 p.
- Sergeev V.N., Sharma M., Shukla Y.* Proterozoic fossil cyanobacteria // Paleobotanist. — 2012. — V. 61. — P. 189—358.
- Stanevich A.M.* Relics of marine bacterial coenoses from the Neoproterozoic Formations of the South margin of Siberian Platform // Proceeding of SPIE 4939, Instruments, Methods and Missions for Astrobiology VI, (SPIE, Bellingham, WA). — 2003. — P. 28—37. — doi.org/10.1117/12.486707.
- Tiwari M.* Organic-walled microfossils from the Chert-phosphorite Member, Tal Formation, Precambrian-Cambrian Boundary, India // Precambrian Res. — 1999. — V. 97. — P. 99—113. — doi.org/10.1016/s0301-9268(99)00023-6.
- Tyler S.A., Barghoorn E.S.* Occurrence of structurally preserved plants in precambrian rocks of the Canadian Shield // Science. — 1954. — V. 119. — P. 606—608. — doi.org/10.1126/science.119.3096.606.
- Vidal G., Moczydlowska M., Rudavskaya V.* Biostratigraphical implications of a Chuaria-Tawuia assemblage and associates acritarchs from the Neoproterozoic of Yakutia // Palaeontology. — 1993. — V. 36, No. 2. — P. 387—402.
- Walcott C.D.* Pre-Cambrian fossiliferous formations // Geol. Soc. Am. Bull. — 1899. — V. 10. — P. 199—244. — doi.org/10.1130/gsab-10-199.
- Walter M.R., Oehler J.N., Oehler D.S.* Megascopic algae 1300 million years old from the Belt Supergroup, Montana: a reinterpretation of Walcott's Helminthoidichnites // Journal of Paleontology. — 1976. — V. 50, No. 5. — P. 872—881.
- Willner A., Sindern S., Metzger R., Ermolaeva T., Kramm U., Puchkov V., Kronz A.* Typology and single grain U/Pb ages of detrital zircons from Proterozoic sandstones in the SW Urals (Russia): early time markers at the eastern margin of the Baltica // Precambrian Res. — 2003. — V. 124. — P. 1—20. — doi.org/10.1016/s0301-9268(03)00045-7.
- Xiao S.* Mitotic topologies and mechanics of Neoproterozoic algae and animal embryos // Paleobiology. — 2002. — V. 28 (2). — P. 244—250. — doi.org/10.1666/0094-8373(2002)028%3C0244:mtamon%3E2.0.co;2.
- Xiao S., Knoll A.H.* Phosphatized animal embryos from the Neoproterozoic Doushantuo Formation at Weng'an, Guizhou, South China // J. Paleontol. — 2000. — V. 74 (5). — P. 767—788. — doi.org/10.1017/s002233600003300x.
- Xiao S., Knoll A.H., Yuan X., Pueschel C.M.* Phosphatized multicellular algae in the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China, and the early evolution of florideophyte red algae // American Journal of Botany. — 2004. — V. 91 (2). — P. 214—227. — doi.org/10.3732/ajb.91.2.214.
- Xunlai Y., Hofmann H.J.* New microfossils from the Neoproterozoic (Sinian) Doushantuo Formation, Wengan, Guizhou Province, southwestern China // Alcheringa. — 1998. — V. 22 (34). — P. 189—222.
- Yin L.* Acanthomorphic acritarchs from Meso-Neoproterozoic shales of the Ruyang Group, Shanxi, China // Rev. of Palaeobot. and Palynol. — 1998. — V. 98. — P. 15—25. — doi.org/10.1016/s0034-6667(97)00022-5.
- Yin L., Guan B.* Organic-walled microfossils of Neoproterozoic Dongjia Formation, Lushan County, Henan Province, North China // Precambrian Res. — 1999. — V. 94. — P. 121—137. — doi.org/10.1016/s0301-9268(98)00115-6.
- Zang W.L., Walter M.R.* Late Proterozoic and Cambrian microfossils and biostratigraphy, Amadeus Basin, Central Australia. — Brisban: Association of Australian Paleontologist (Vol. 12), 1992. — 132 p.

References:

Akhmedov A.B., Belova M.Ju., Krupenik V.A., Sidorova I.N. Mikrofossilii gribnoy prirody iz chjornykh slantsev paleoproterozoja Pechengskogo kompleksa (Kolskiy poluostrov) [Fungal microfossils from black shales of Pechenga complex paleoproterozoic (Kolsky peninsula)] // Dokl. RAS. 2000. V. 372, No. 5. P. 646—649 (in Russian).

Albani A.E., Bengtson S., Canfield D.E., Bekker A., Macchiarelli R., Mazurier A., Hammarlund E.U., Boulvais P., Dupuy J.-J., Fontaine C., Fürsich F.T., Gauthier-Lafaye F., Janvier P., Javaux E., Ossa F.O., Pierson-Wickmann A.-C., Ribouleau A., Sardini P., Vachard D., Whitehouse M. and Meunier A. Large colonial organisms with coordinated growth in oxygenated environments 2.1 Gyr ago // Nature. 2010. V. 466. P. 100—104. doi.org/10.1038/nature09166.

Algae. An introduction to phycology / C. van den Hoek, D.G. Mann, H.M. Jahns. Cambridge University Press, 1995. 627 p.

Arouri K.R., Greenwood P.F., Walter M.R. A possible chlorophycean affinity of some Neoproterozoic acritarchs // Organic Geochemistry. 1999. V. 30. — P. 1323—1337. doi.org/10.1016/s0146-6380(99)00105-9.

Arouri K.R., Greenwood P.F., Walter M.R. Biological affinities of Neoproterozoic acritarchs from Australia: microscopic and chemical characterisation // Organic Geochemistry. 2000. V. 31. P. 75—89. doi.org/10.1016/s0146-6380(99)00145-x.

Brocks J.J., Logan G.A., Buick R., Summons R.E. Archean molecular fossils and the early rise of eukaryotes // Science. 1999. V. 285. P. 1033—1036. doi.org/10.1126/science.285.5430.1033.

Butterfield N.J. Bangiomorpha pubescens n. gen., n. sp.: implications for the evolution of sex, multicellularity, and the Mesoproterozoic/Neoproterozoic radiation of eukaryotes // Paleobiology. 2000. V. 26 (3). P. 386—404. doi.org/10.1666/0094-8373(2000)026<0386:bpngns>2.0.co;2.

Butterfield N.J. Paleobiology of the Late Mesoproterozoic (ca. 1200 Ma) Hunting Formation, Somerset Island, arctic Canada // Precambrian Res. 2001. V. 111. P. 235—256. doi.org/10.1016/s0301-9268(01)00162-0.

Butterfield N.J. Probable Proterozoic fungi // Paleobiology. 2005. V. 31, No. 1. P. 165—182. doi.org/10.1666/0094-8373(2005)031<0165:ppf>2.0.co;2.

Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K.A. Bangiophyte Red Algae from the Proterozoic of Arctic Canada // Science. New Series. 1990. V. 250, No. 4977. P. 104—107. doi.org/10.1126/science.11538072.

Butterfield N.J., Knoll A.H., Swett K. Paleobiology of the Neoproterozoic Svanbergfiellet Formation, Spitsbergen. Oslo; Copenhagen; Stockholm: Scandinavian University Press, 1994. 84 p. (Fossils and Strata; V. 34).

Burzin M.B. Tynnia Burzin, gen. nov. Novyi poryadok vendskikh kolonial'nykh kokkoidnykh organikostennykh mikro-

fossilii [Tynnia Burzin, gen. nov.: A New Genus Of The Vendian Colonial Coccoidal Organic-Walled Microfossils] // Paleontol. Journal. 1997. No. 2. P. 20–28 (in Russian).

Chen J.-Y., Oliveri P., Li C.-W., Zhou G.-Q., Gao F., Hagadorn J.W., Peterson K.J., Davidson E.H. Precambrian animal diversity: Putative phosphatized embryos from the Doushantuo Formatuo of China // PNAS. 2000. V. 97, No. 9. P. 4457–4462. doi.org/10.1073/pnas.97.9.4457.

Downie C., Evitt W.R., Sarjeant W.A.S. Dinoflagellates, hystrichosphaeres and the classification of acritarchs // Stanford Univer. Publ. in Geol. Sci. 1963. V. 7. P. 3–16.

Engels M., Lorch D.W. Some observations on cell wall structure and taxonomy of Phymatodocis nordstedtiana (Conjugatophyceae, Chlorophyta) // Plant Syst. Evol. 1981. V. 138. P. 217–225. doi.org/10.1007/bf00985185.

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N. Geochemical Characterization of Precambrian magmatic suites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Geological Digest (No. 5). Geol. Innstituti of the Ufimian scientific centre of RAS. Ufa: Design PoligraphService, 2006. P. 119–161.

Evitt W.R. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichosphaeres and acritarchs, I // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1963a. V. 49 (2). P. 158–164. doi.org/10.1073/pnas.49.2.158.

Evitt W.R. A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichosphaeres and acritarchs, II // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1963b. V. 49 (3). P. 298–302. doi.org/10.1073/pnas.49.3.298.

Field trip guide: Rephean and Vendian Reference Section of the South Urals / *Yu.R. Bekker, V.I. Kozlov, V.N. Puchkov, M.E. Raaben, N.A. Rumyantseva, V.N. Sergeev / Eds: Yu.R. Bekker, V.I. Kozlov, V.N. Puchkov, S.P. Shokalsky*. St. Petersburg: VSEGEI OSL, 2006. 71 p.

Geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii i sopredel'noi territorii respubliki Kazakhstan [Geological map of Russian Federation and adjacent territory of Republic of Kazakhstan]. Scale 1:1 000 000 (new series). Sheet N-40(41). Ufa (Executive editor V.I. Kozlov) SPb: VSEGEI Publishers of SPb map reproduction plant, 2002 (in Russian).

German T.N. Nakhodki gribov v rifee [Fungi found in Riphean] // Pre-Cambrian and early Cambrian paleontology. L.: Nauka, 1979. P. 129–136 (in Russian).

German T.N., Podkopyrov V.N. O nakhodkakh rifeiskikh dimorfnykh organizmov [On the finds of riphean dimorphic organisms] // Paleontol. Journal. 2002. No. 3. P. 3–10 (in Russian).

German T.N., Podkopyrov V.N. O zhivotnoi prirode pozdne-rifeiskikh Rugosoopsis [About zoogenic nature of Late Riphean Rugosoopsis] / Paleontol. Journal. 2005. No. 2. P. 8–15 (in Russian).

Gnilovskaja M.B. Drevneishie annelidomorfy iz verkhnego rifeya Timana [Earliest annelidomorphs from Timan Upper Riphean] // Dokl. RAS. 1998. V. 359, No. 3. P. 369–372 (in Russian).

Gnilovskaja M.B., Ishchenko A.A., Kolesnikov Ch.M., Korenchuk L.V., Udal'tsov A.P. Vendotenidy Vostochno-Evopeiskoi platformy [Vendotenides of East-European platform]. L.: Nauka, 1988. 143 p. (in Russian)

Golubic S. Organisms that build stromatolites // Stromatolites. Amsterdam: Elsevier, 1976. P. 113–126. doi.org/10.1016/s0070-4571(08)71132-4.

Golubkova E.Ju., Raevskaja E.G., Kuznetsov A.B. Nizhnevendskie kompleksy mikrofossiliu Vostochnoi Sibiri v reshenii stratigraficheskikh problem regiona [Lower Vendian microfossil assemblages of East Siberia: Significance for solving regional stratigraphic problems] // Stratigraphy. Geological correlation. 2010. V. 18, No. 4. P. 3–27 (in Russian).

Han T.M., Runnegar B. Megascopic eukaryotic algae from the 2.1-billion-year-old Negaunee Iron-Formation, Michigan // Science. 1992. V. 257, No. 5067. P. 232–235. doi.org/10.1126/science.1631544.

Hofmann H.J. Precambrian microflora, Belcher Islands, Canada: significance and systematics // J. Paleontol. 1976. V. 50, No. 6. P. 1040–1073.

Horodyski R.J. Paeontology of Proterozoic shales and mudstones: examples from the Belt Supergroup, Chuar Group and Pahrump Group, western USA // Precambrian Res. 1993. V. 61. P. 241–278. doi.org/10.1016/0301-9268(93)90116-j.

Javaux E.J., Knoll A.H., Walter M.R. Morphological and ecological complexity in early eukaryotic ecosystems // Nature. 2001. V. 412. P. 66–69. doi.org/10.1038/35083562.

Javaux E.J., Knoll A.H., Walter M. Recognizing and interpreting the fossils of early eukaryotes // Origins of Life and Evolution of the Biosphere. 2003. V. 33. P. 75–94. doi.org/10.1023/A:1023992712071.

Kenneth J.P. Morskaya geologiya: v 2 t. [Marine geology: in 2 v.] V. 2. Transl. from Engl. M.: Mir, 1987. 384 p. (in Russian).

Kirjanov V.V. K voprosu o prirode nekotorykh rannekembriiskikh sferomorfnykh akitarkh [On the origin of some early Cambrian spheromorphic acritarchs] // Aktual'nye voprosy sovremennoi paleoal'gologii [Actual issues of contemporary paleoalgology]. Kiev: Naukova dumka, 1986. P. 40–45 (in Russian).

Knoll A.H. The early evolution of eukaryotes: a geological perspective // Science. 1992. V. 256, No. 5057. P. 622–627. doi.org/10.1126/science.1585174.

Knoll A.H. Proterozoic and Early Cambrian protists: Evidence for accelerating evolutionary tempo // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1994. V. 91, No. 15. P. 6743–6750. doi.org/10.1073/pnas.91.15.6743.

Knoll A.H., Sergeev V.N. Taphonomic and evolutionary changes across the Mesoproterozoic-Neoproterozoic transition // N. Jb. Geol. Palaont. Abh-Bd. 1995. V. 195, No. 1–3. P. 289–302. doi.org/10.1127/njgpa/195/1995/289.

Knoll A.H., Swett K., Mark J. Paleobiology of a Neoproterozoic tidal flat/lagoonal complex: the Draken Conglomerate Formation, Spitsbergen // J. Paleontol. 1991. V. 65, No. 4. P. 531–570. doi.org/10.1017/s0022336000030663.

Kosinskaja E.K. Desmidievye vodorosli [Desmid algae]. M.; L.: Publishing house of AS USSR, 1960. Iss. 1. 217 p. (in Russian).

Kozlov V.I. Verkhniy rifei i vend Yuzhnogo Urala [Upper Riphean and Vendian of South Urals]. M.: Nauka, 1982. 128 p. (in Russian).

Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Veys A.F. Stratotip rifeja: stroenie, paleontologicheskaya kharakteristika, isotopnyi vozrast [Riphean stratotype: structure, paleontologic characteristics, isotopic age] // Obshchie voprosy i princip raschleneniya dokembriya [General issues and principle of Pre-Cambrian subdivision]. SPb.: Nauka, 1994. P. 133–156. (in Russian).

Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Larionov N.N., Maslov A.V., Sergeeva N.D., Bibikova E.V., Genina L.A., Ronkin Ju.L. Nizhnii rifei Juzhnogo Urala [Lower Riphean of the southern Urals]. M.: Nauka, 1989. 240 p. (in Russian).

Kozlov V.I., Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Nekhorsheva A.G., Busharina S.V. Arshinii – novyi straton rifeja v stratotipicheskikh razrezakh Yuzhnogo Urala [Arshinian – new stratigraphic unit of Riphean in stratotypic sequences of the southern Urals] // Geologicheskii sbornik No. 9 / IG USC RAS. Ufa: DesignPoligraphService, 2011. P. 3–8 (in Russian).

Krasnobaev A.A., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Busharina S.V. Novye dannye po tsirkonovoi geokronologii arshinskikh vulkanitov (Uzhnyi Ural) [New data for zircon geochronology arshinsky volcanics (Southern Urals)] // Litosfera. 2012. No. 4. P. 127–139 (in Russian).

Krasnobaev A.A., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Busharina S.V., Lepekhina E.N. Tsirkonologiya navyshskikh vulkanitov aiskoi svity i problema vozrasta nizhnei granitys rifeja na Yuzhnom Urale [Zirconology of navysh volcanic rocks of the Ai suite and the problem of the age of the lower riphean boundary in the Southern Urals] // Doklady RAS. 2013. V. 448, No. 4. P. 437–442. (in Russian). doi.org/10.7868/s086956521304021x.

Kurs nizshikh rastenii [Lower plants course] / Ed. M.V. Gorlenko. M.: Vyschaya shkola, 1981. 504 p. (in Russian).

Lein A.Ju., Pimenov N.V., Vinogradov M.E., Ivanov M.V. Skorost' CO₂ assimilyatsii i bakterial'naya produktsiya organicheskogo veshchestva na gidrotermal'nykh polyakh 26° s.sh i 29° s.sh Sredinoatlanticheskogo khrebeta [CO₂ assimilation rate and organic matter bacterial product on hydrothermal fields at 26° NL and 29° NL of Mid-Atlantic ridge] // Oceanology. 1996. V. 37, No. 3. P. 396–407. (in Russian).

Martin F. Acritarchs: a review // Biol. Rev. 1993. V. 68. P. 475–538.

Maslov A.V., Krupenin M.T., Gareev E.Z., Anfimov L.V. Rifei zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala (klassicheskie razrezy, sedimento- i litogenet, minerageniya, geologicheskie pamiatniki prirody) [Riphean of the southern Urals western slope (classic sequences, sedimento- and lithogenesis, mineralization, natural geological monuments)]: In 4 v. Ekaterinburg: UrB RAS, 2001. V. 1. 351 p. (in Russian).

Mezhdunarodnyi kodeks botanicheskoi nomenklatury (Tokiiskii kodeks, 1993) [International Code of Botanical Nomenclature (Tokio code, 1993)]. Transl. from Engl. SPb: Mir i sem'ya–95, 1996. 191 p. (in Russian).

Mikhaylova N.S., Podkovyrov V.N. Mikrofitologicheskaya kharakteristika pogranichnykh gorizontov rifeja i venda Yuzhnogo Urala [Microphytological characteristics of the Riphean and Vendian boundary horizons in the Southern Urals] // Izv. AN USSR. Ser. geol. 1987. No. 9. P. 75–83 (in Russian).

Mikrofossilii dokembriya SSSR [Pre-Cambrian microfossils of USSR] / Ed. T.V. Jankauskas. L.: Nauka. 1989. 190 p. (in Russian).

Moorman M. Microbiota of the Late Proterozoic Hector Formation, Southwestern Alberta, Canada // J. Paleontol. 1974. V. 48, No. 3. P. 524–540.

Naumova C.N. Spory drevnikh svit zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Spores of ancient suites of the Southern Urals western slopes] // Bull. MOIP. Geol. dept. 1951. V. 26, Is. 1. P. 183–187 (in Russian).

Nemerov V.K., Stanevich A.M. Evolutsiya rifei-vendskikh obstanovok biolitogeneza v basseinakh Baikal'skoi gornoi oblasti [Evolution of Riphean-Vendian environments of biolithogenesis in basins of Baikal mountainous region] // Geology and geo-physics. 2001. V. 42, No. 3. P. 456–470 (in Russian).

Obstanovki osadkonakopleniya i Facii [Sedimentary Environments and Facies]: Transl. from Engl. In 2 v. / Ed. H. Reading. M.: Mir, 1990. V. 1, 352 p. V. 2, 384 p. (in Russian).

Olson J.M., Blankenship R.E. Thinking about the evolution of photosynthesis // Photosynth. Res. 2004. V. 80. P. 373–386. doi.org/10.1023/B:PRES.0000030457.06495.83.

Opredelitel' bakterii Berdzhi [Bergery's Manual of Determinative Bacteriology]: Transl. from Engl. In 2 v. / Edited by J. Holt, N. Krieg, P. Sneath et. al. M.: Mir, 1997. 800 p. (in Russian).

Park N.E., Karol K.G., Hoshaw R.W., McCourt R.M. Phylogeny of Gonatozygon and Genicularia (Gonatozygaceae, Desmidiales) based on rbcL sequences // Eur. J. Phycol. 1996. V. 31. P. 309–313. doi.org/10.1080/09670269600651531.

Porter S.M., Knoll A.H. Testate amoebae in the Neoproterozoic Era: evidence from vase-shaped microfossils in the Chuar Group, Grand Canyon // Paleobiology. 2000 V. 26 (3). P. 360–385. doi.org/10.1666/0094-8373(2000)026%3C0360:taitne%3E2.0.co;2.

Puchkov V.N. Structure and geodynamics of the Uralian orogen // Orogeny through time: Geological Society Special Publication. 1997. V. 121, No. 1. P. 201–236. doi.org/10.1144/gsl.sp.1997.121.01.09.

Puchkov V.N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafi, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of Urals and Cisuralian area (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics, and metallurgy)]. Ufa: DesignPoligraphService, 2010. 280 p. (in Russian).

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Kozlov V.I. Predvaritel'nye dannye o vozrastnykh rubezhakh neo- i mezoproterozooya Yuzhnogo Urala v svete novykh dannykh U-Pb datirovok [Preliminary data on age milestones of the southern Urals Neo- and Mezo-proterozoic in the light of U-Pb Dating new data] // Geological digest No. 6 / IG USC RAS. Ufa: DesignPoligraphService, 2007. P. 3–4 (in Russian).

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. The New Data on Stratigraphy of the Riphean Stratotype in the Southern Urals, Russia // Journal of Geoscience and Environment Protection. 2014. V. 2, No. 3. P. 108–116. doi.org/10.4236/gep.2014.23015.

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. Obnovlenaya skhema raschleneniya stratotipicheskogo razreza rifeja [Revised layout of subdivision of Riphean stratotypic sequence] // Obshaya stratigraficheskaya shkala i metodicheskie problemy razrabotki regionalnykh stratigraficheskikh shkal Rossii. [Common stratigraphic chart and methodical problems of development of

regional stratigraphic charts of Russia] / T.Ju. Tolmacheva (exec. ed.): Materials of Interagency session. Saint-Petersburg, 17–20 October, 2016. SPb: VSEGEI Publishers, 2016. P. 137–139 (in Russian).

Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobaev A.A. Pogranichnye stratony rifeya i veda na Yuzhnom Urale. Dopolneniya i izmeneniya v regional'nyyu stratigraficheskuyu skhemu [Riphean and Vendian boundary stratos in the southern Urals. Amendments to the regional stratigraphic scheme] // Geology, mineral deposits and geoecological problems of Bashkortostan, Urals, and adjacent territories: Materials and reports. 10 International Workshop. Ufa, 13–15 May, 2014. Ufa: DesignPress, 2014. P. 77–87 (in Russian).

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Schmitz M., Kozlov V.I. Novye U-Pb datirovki mashakskoi svity Ju. Urala i ikh sravnitel'naya otsenka [New U-Pb datings of Mashak suite of the southern Urals and their comparative assessment] // Geological digest No. 8 / IG USC RAS. Ufa: DesignPoligraphService, 2009. P. 3–14 (in Russian).

Resheniya vsesoyuznogo kollokviuma po rastitel'nym mikrofossiliyam (akritarkham) vnutrennikh (neftegazonosnykh) raionov Sibirskoi platformy [Resolutions of All-Union colloquium on phytogenic microfossils (acritarchs) of inner (oil and gas bearing) regions of Siberian platform] // Geology and geophysics. 1986. No. 3. P. 116–117 (in Russian).

Rozanov A.Ju. Bakterialnaya paleontologiya, sedimentogeneza i rannie stadii evolutsii biosfery [Bacterial paleontology, sedimentogenesis and early stages of biosphere evolution] // Sovremennye problemy geologii [Contemporary issues of geology]. M.: Nauka, 2004. P. 427–447. (GIN RAS Pr.; Is. 565) (in Russian).

Samuelsson J., Butterfield N.J. Neoproterozoic fossils from the Franklin Mountains, northwestern Canada: stratigraphic and palaeobiological implications // Precambrian Res. 2001. V. 107. P. 235–251. doi.org/10.1016/s0301-9268(00)00142-x.

Samuelsson J., Dawes P.R., Vidal G. Organic-walled microfossils from the Proterozoic Thule Supergroup, Northwest Greenland // Precambrian Res. 1999. V. 96. P. 1–23. doi.org/10.1016/s0301-9268(98)00123-5.

Sedimentary environments and facies / Ed. H.G. Reading. Dep. Earth Sciences Univ. of Oxford, London, 1986. V. 1. 352 p. V. 2. 384 p.

Semikhatalov M.A., Raaben M.E., Sergeev V.N., Veys A.F., Artjomova O.V. Bioticheskie sobytiya i polozhitel'naya izotopnaya anomalija karbonatnogo ugleroda 2.3–2.06 mlrd let nazad [Biotic events and positive isotopic anomaly of carbonate carbon 2.3–2.06 Ga ago] // Stratigraphy. Geological correlation. 1999. V. 7, No. 5. P. 3–27 (in Russian).

Semikhatalov M.A., Shurkin K.A., Aksenov E.M., Becker Yu.R., Bibikova E.V., Duc V.L., Esipchuk K.E., Karsakov L.P., Kiselev V.V., Kozlov V.I., Lobach-Zhuchenko S.B., Negrutsa V.Z., Robonen V.I., Sezko A.I., Filatov L.I., Khomentovsky V.V., Shemyakin, V.M., Schuldiner V.I. Novaya stratigraficheskaya shkala dokembriya SSSR [New stratigraphic chart of Pre-Cambrian of USSR] // Izvestiya AS USSR. Ser. geol. 1991. No. 4. P. 3–13 (in Russian).

Sergeev V.N. Okremnennye mikrofossilii dokembriya i kembriya Urala i Srednei Azii [Pre-Cambrian and Cambrian

siliceous microfossils of Urals and Central Asia]. M.: Nauka, 1992. 139 p. (in Russian).

Sergeev V.N. Okremnennye mikrofossilii dokembriya: priroda, klassifikatsiya, fatsial'naya priurochennost' i biostratigraficheskoe znachenie [Pre-Cambrian siliceous microfossils: nature, classification, facial association, and biostratigraphic importance]: Extended abstr. of Doct. geol.-min. sci. diss / GIN RAS. M., 2003. 54 p. (in Russian).

Sergeev V.N. Okremnennye mikrofossilii dokembriya: priroda, klassifikatsiya i biostratigraficheskoe znachenie [Pre-Cambrian siliceous microfossils: nature, classification, and biostratigraphic importance]. Moscow: GEOS, 2006. (Pr. GIN RAS; Is. 567). 280 p. (in Russian).

Sergeev V.N., Sharma M., Shukla Y. Proterozoic fossil cyanobacteria // Paleobotanist. 2012. V. 61. P. 189–358.

Sergeev V.N., Semikhatalov M.A., Fedorov M.A., Vorobjova N.G. Glavnye stadii evolutsii dokembriiskogo organiceskogo mira. 2. Pozdnii proterozoi [Main stages of Pre-Cambrian organic evolution. 2. Late Proterozoic] // Stratigraphy. Geological correlation. 2010. V. 18, No 6. P. 3–34 (in Russian).

Schlegel H. Obschaya mikrobiologiya [General microbiology]: Transl. from Germ. M.: Mir, 1987. 567 p. (in Russian).

Schopf J.W., Sovietov Ju.K. Mikrofossilii v stromatolitakh Conophyton iz vendskikh otlozhennykh Yuzhnogo Kazakhstana [Microfossils in stromatolites Conophyton from Vendian deposits of the Southern Kazakhstan] // Reports of AS USSR. 1976. V. 230, No. 6. P. 1448–1450 (in Russian).

Schopf J.W., Dolnik T.A., Krylov J.N., Mendelson G.V., Nasarov B.B., Nyberg A.V., Sovietov G.K., Jakchin M.S. Six new Stromatolite mioribiotas from the proterozoic of the Soviet Union // Precambrian Res. 1977. V. 4 (3). P. 269–284. doi.org/10.1016/0301-9268(77)90017-1.

Stanovich A.M. Morfobiologicheskii aspekt evolutsii osad-konakopleniya v pozdnem dokembrii Baikal'skoi gornoi oblasti [Morphobiological aspect of sedimentary evolution in late Pre-Cambrian in Baikal mountainous region] // Rifei Severnoi Evrazii. Geologiya. Obschchie problemy stratigrafiyi [Riphean of the Northern Eurasia. Geology. General problems of stratigraphy]. Ekaterinburg: UrB RAS, 1997. P. 212–217 (in Russian).

Stanovich A.M. Relics of marine bacterial coenoses from the Neoproterozoic Formations of the South margin of Siberian Platform // Proceeding of SPIE 4939, Instruments, Methods and Missions for Astrobiology VI, (SPIE, Bellingham, WA.), 2003. P. 28–37. doi.org/10.1117/12.486707.

Stanovich A.M., Fayzulina Z.Kh. Mikrofossilii v stratigrafiyi pozdnego dokembriya Baikalo-Patomskoi gornoi oblasti [Microfossils in Late-Precambrian stratigraphy of Baikal-Patom mountainous region]. M.: Nedra, 1992. 158 p. (in Russian).

Stanovich A.M., Nemerov V.K., Chatta E.N. Mikrofossilii proterozooya Sayano-Baikal'skoi skladchatoi oblasti. Obstanovki obitaniya, priroda i klassifikatsiya [Proterozoic microfossils of Sayan-Baikal folded region. Habitat environments, origin, and classification]. Novosibirsk: Geo, 2006. 204 p. (in Russian).

Stanovich A.M., Chatta E.N., Kornilova T.A., Nemerov V.K. Usloviya obitaniya i veroyatnaya priroda akritarkh iz chenchinskoi svity pozdnego rifeya [Habitats and probable nature of acritarchs from the Upper Riphean Chencha Formation] // Paleontol. Journal. 2007. No. 1. P. 83–89 (in Russian).

Stanovich A.M., Maksimova E.N., Kornilova T.A., Gladkochub D.P., Mazukabzov A.M., Donskaya T.V. Mikrofossiliia arymasskoi i debengdinskoi svit rifeya Oleneskogo podnyatiya: vozrast i predpolagaemaya priroda [Microfossils from the Arymas and Debengda formations, the Riphean of the Olenek Uplift: Age and presumable nature] // Stratigraphy. Geological correlation. 2009. V. 17, No. 1. P. 23–40 (in Russian).

Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrii, paleozoi) [Stratigraphic charts of Urals (Pre-Cambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg: Interagency Stratigr. Committee of Russia, 1993. 151 schemes (in Russian).

Timofeev B.V. Drevnyaya flora Pribaltiki i ee stratigraficheskoe znachenie [Ancient Baltic flora and its stratigraphic importance]. L.: Gostoptehizdat, 1959. 320 p. (VNIGRI Pr. Iss. 129) (in Russian).

Timofeev B.V. Mikropaleofitologicheskoe issledovanie drevnikh svit [Micropaleophytological study of ancient formations]. M.: Nauka, 1966. 147 p. (in Russian).

Timofeev B.V. Sferomorfidy proterozoya [Proterozoic spheromorphids]. L.: Nauka, 1969. 146 p. (in Russian).

Tiwari M. Organic-walled microfossils from the Chert-phosphorite Member, Tal Formation, Precambrian-Cambrian Boundary, India // Precambrian Res. 1999. V. 97. P. 99–113. doi.org/10.1016/s0301-9268(99)00023-6.

Treshchetenkova A.A., Fayzulina Z.Kh., Shirobokov I.M. Rastitel'nye mikrofossilii ushakovskoi svity Yugo-Zapadnogo Pribaikala'ya [Phylogenetic microfossils of South-Western Pribaikala's Ushakovka Formation] // Izv. AS USSR. Ser. geol. 1982. No. 5. P. 116–121 (in Russian).

Tsarenko P.M. Kratki opredelitel' khlorokokkovykh vodoroslei Ukrainskoi SSR [Brief manual of determination of Chlorococcales in Ukrainian SSR] / AS Ukr. SSR. Institute of botanics named after N.G. Kholodny. Kiev: Nauk. Dumka, 1990. 208 p. (in Russian).

Tyler S.A., Barghoorn E.S. Occurrence of structurally preserved plants in precambrian rocks of the Canadian Shield // Science. 1954. V. 119. P. 606–608. doi.org/10.1126/science.119.3096.606.

Veys A.F., Petrov P.Ju. Glavnye osobennosti fatsial'no-ekologicheskogo raspredeleniya mikrofossilii v rifeiskikh bassejakh Sibiri [Main peculiarities of microfossil facial-ecological distribution in Riphean basins of Siberia] // Stratigraphy. Geological correlation. 1994. V. 2, No. 5. P. 97–129 (in Russian).

Veys A.F., Kozlova E.V., Vorobjova N.G. Organostennye mikrofossilii tipovogo razreza rifeya (Yuzhnii Ural) [Organic-walled microfossils of typical Riphean sequence (South Urals)] // Izv. AS USSR. Ser. geol. 1990. No. 9. P. 20–36 (in Russian).

Veys A.F., Petrov P.Ju., Vorobjova N.G. Miroedikhinskaya mikrobiota verkhnego rifeya Sibiri. Soobshchenie 2. Interpretatsiya v terminakh bioticheskoi paleosuktsessii [The late riphean miroedikha microbiota from Siberia. Communication 2: interpretation in terms of biotic paleosuccession] // Stratigraphy. Geol. correlation. 1999. V. 7, No. 1. P. 18–40 (in Russian).

Veys A.F., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Vorobjova N.G. Mikrofossilii tipovogo razreza verkhnego rifeya (karatavskaya seriya Yuzhnogo Urala) [Microfossils from the Upper Riphean type section (the Karatau Group of southern Urals)] // Stratigraphy. Geological correlation. 2003. V. 11, No. 6. P. 20–45 (in Russian).

Vidal G., Moczydlowska M., Rudavskaya V. Biostratigraphical implications of a Chuaria-Tawuia assamblage and associates acritarchs from the Neoproterozoic of Yakutia // Palaeontology. 1993. V. 36, No. 2. P. 387–402.

Vodorosli: Spravochnik [Algae: Handbook] / S.P. Vasser, N.V. Kondrat'eva, N.P. Masyuk, G.M. Palamar'-Mordvinceva, Z.I. Vetrova, E.L. Kordyum, N.A. Moskova, L.P. Prihod'kova, O.V. Kovalenko, V.V. Stupina, P.M. Tsarenko, V.P. Yunger, M.I. Radchenko, O.N. Vinogradova, L.N. Buhtiyarova, L.F. Razumna. Kiev: Nauk. Dumka, 1989. 608 p. (in Russian).

Volkova N.A. O prirode i klassifikatsii mikrofossilii rastitel'nogo proiskhozhdeniya is dokembriya i nizhnego paleozoya [About nature and classification of phylogenetic microfossils from Pre-Cambrian and Lower Paleozoic] // Paleotol. journ. 1965. No. 5. P. 13–26 (in Russian).

Vorobjova N.G., Sergeev V.N., Chumakov N.M. Novye nakhodki rannevendskikh mikrofossilii v urinskoi svite: peresmotr vozrasta Patomskogo kompleksa Srednei Sibiri [New finds of early Vendian microfossils in the Ura Formation: Revision of the Patom Supergroup age, Middle Siberia] // Doklady RAS. 2008. V. 419, No. 6. P. 782–787 (in Russian).

Walcott C.D. Pre-Cambrian fossiliferous formations // Geol. Soc. Am. Bull. 1899. V. 10. – P. 199–244. doi.org/10.1130/gsab-10-199.

Walter M.R., Oehler J.N., Oehler D.S. Megascopic algae 1300 million years old from the Belt Supergroup, Montana: a reinterpretation of Walcott's Helminthoidichnites // Journal Paleontology. 1976. V. 50, No. 5. P. 872–881.

Willner A., Sindern S., Metzger R., Ermolaeva T., Kramm U., Puchkov V., Kronz A. Typology and single grain U/Pb ages of detrital zircons from Proterozoic sandstones in the SW Urals (Russia): early time markers at the eastern margin of the Baltica // Precambrian. Res. 2003. V. 124. P. 1–20. doi.org/10.1016/s0301-9268(03)00045-7.

Xiao S. Mitotic topologies and mechanics of Neoproterozoic algae and animal embryos // Paleobiology. 2002. V. 28 (2). P. 244–250. doi.org/10.1666/0094-8373(2002)028%3C0244:mtamon%3E2.0;co;2.

Xiao S., Knoll A.H. Phosphatized animal embryos from the Neoproterozoic Doushantuo Formation at Weng'an, Guizhou, South China // J. Paleontol. 2000. V. 74 (5). P. 767–788. doi.org/10.1017/s002233600003300x.

Xiao S., Knoll A.H., Yuan X., Pueschel C.M. Phosphatized multicellular algae in the Neoproterozoic Doushantuo Formation, China, and the early evolution of florideophyte red algae // American Journal of Botany. 2004. V. 91 (2). P. 214–227. doi.org/10.3732/ajb.91.2.214.

Xunlai Y., Hofmann H.J. New microfossils from the Neoproterozoic (Sinian) Doushantuo Formation, Wengan, Guizhou Province, southwestern China // Alcheringa. 1998. V. 22 (34). P. 189–222.

Yakshin M.S. Vodoroslevye mikrofossilii is opornogo razreza venga Patomskogo nagor'ya [Algal microfossils from reference sequence of Patom plateau] // News of paleontology and stratigraphy. 2002. Iss. 5. P. 12–31. (Append. to journ. "Geology and geophysics"; V. 43) (in Russian).

Yankauskas T.V. Mikrofossilii rifeya Yuzhnogo Urala [Riphean microfossils of the southern Urals] // Tr. GIN AS USSR. M.: Nauka, 1982. Is. 368. P. 84–120 (in Russian).

Yin L. Acanthomorphic acritarchs from Meso-Neoproterozoic shales of the Ruyang Group, Shanxi, China // Rew. of Palaeobot. and Palytol. 1998. V. 98. P. 15–25. doi.org/10.1016/s0034-6667(97)00022-5.

Yin L., Guan B. Organic-walled microfossils of Neoproterozoic Dongjia Formation, Lushan Country, Henan Province, North China // Precambrian Res. 1999. V. 94. P. 121–137. doi.org/10.1016/s0301-9268(98)00115-6.

Zang W.L., Walter M.R. Late Proterozoic and Cambrian microfossils and biostratigraphy, Amadeus Basin, Central

Australia. Brisban: Association of Australian Paleontologist (Vol. 12), 1992. 132 p.

Zhizn' rastenii. Vodorosli. Lishainiki [Plant life. Algae. Lichens] / Ed. M.M. Gollerbach. M.: Prosveshchenie, 1977. V. 3. 487 p. (in Russian).

Zhmur S.I., Gorlenko V.M. Priroda kuonamskikh goryuchikh slantsev kembriya Sibirskoi platformy [Nature and origin of Kuonama Cambrian oil shales of Siberian platform] // Lithology and mineral deposits. 1990. No. 3. P. 122–126 (in Russian).

Сведения об авторах:

Станевич Аркадий Михайлович, доктор геол.-минер. наук, Институт земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), г. Иркутск. E-mail: stan@crust.irk.ru

Пучков Виктор Николаевич, член-корреспондент РАН, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: puchkv@ufaras.ru

Корнилова Татьяна Александровна, Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук (ИЗК СО РАН), г. Иркутск.

Сергеева Нина Дмитриевна, кандидат геол.-минер. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: riphey@ufaras.ru

Максимова Евгения Николаевна, доцент, канд. биол. наук, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Иркутский государственный педагогический университет (ГОУ ВПО ИГПУ), г. Иркутск. E-mail: evgeniya_chatta@mail.ru

About the autors:

Stanevich Arkadii Mikhailovich, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk. E-mail: stan@crust.irk.ru

Puchkov Viktor Nikolaevich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: puchkv@ufaras.ru

Kornilova Tatayna Aleksandrovna, Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk. E-mail: stan@crust.irk.ru

Sergeeva Nina Dmitrievna, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: riphey@ufaras.ru

Maksimova Evgeniay Nikolaevna, assistant professor, candidate of biological sciences, State Pedagogical University, Irkutsk. E-mail: evgeniya_chatta@mail.ru

УДК 565.33:551.735(470.57)

DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-2>

ОСТРАКОДЫ ПОГРАНИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО – СРЕДНЕГО КАРБОНА В РАЗРЕЗЕ МУРАДЫМОВО НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

© 2018 г. Н. Н. Кочетова

Реферат. Статья посвящена характеристике комплексов остракод пограничного интервала нижнего и среднего карбона в разрезе Мурадымово. Данный разрез расчленен по четырем группам ископаемых остатков (фораминиферы, конодонты, аммоноиды, остракоды) и может служить эталонным разрезом России для нижней границы башкирского яруса. В кровле серпуховского яруса установлена зона *Pseudoparaparchites celsus*; в основании башкирского яруса выделена зона *Fellerites gratus* и выше — слои с *Limnoprimitia cf. arcuata*. Зона *Pseudoparaparchites celsus* включает 28 видов из 24 родов. Зона *Fellerites gratus* включает 48 видов из 38 родов. Своевобразие этому комплексу в разрезе Мурадымово придают представители рода *Kirkbya*, а также родов *Polytylites*, *Amphizona*, *Kellettina*, *Edititia*. Вышележащие слои охарактеризованы комплексом III, включающим 9 видов из 7 родов с характерным видом *Limnoprimitia cf. arcuata* (Bean, 1836), по которому в дальнейшем здесь может быть выделена одноименная зона. Смена комплексов остракод наблюдается в трех метрах выше подошвы башкирского яруса, определяемой появлением конодонтов *Declinognathodus noduliferus* (Ellison et Graves, 1941). Комплекс остракод, описанный в разрезе Мурадымово, в других регионах пока не известен.

Ключевые слова: остракоды, нижний карбон, средний карбон, Южный Урал

OSTRACODES OF THE LOWER – MIDDLE CARBONIFEROUS BOUNDARY LAYERS IN THE MURADYMOVO SECTION OF THE SOUTHERN URALS

N. N. Kochetova

Abstract. Ostracode assemblages of the Lower and Middle Carboniferous boundary interval in the Muradymovo section are characterized. This is a reference section for the base of the Bashkirian stage of Russia as it has been stratigraphically subdivided based on four groups of fossils (foraminifers, conodonts, ammonoids, ostracodes). The *Pseudoparaparchites celsus* Zone, characterizes the Yuldybaevian regional Horizon of the Serpukhovian (Lower Carboniferous). *Fellerites gratus* Zone and the Beds with *Limnoprimitia cf. arcuata* characterize the Bogdanovian regional Horizon of the Bashkirian (Middle Carboniferous). The *Pseudoparaparchites celsus* Zone (Assemblage I) includes 28 species of 24 genera. The *Fellerites gratus* Zone (Assemblage II) includes 48 species of 38 genera. The representatives of *Kirkbya*, as well as the genera *Polytylites*, *Amphizona*, *Kellettina*, *Edititia* account for the peculiarity of this assemblage in the Muradymovo Section. The Beds with *Limnoprimitia cf. arcuata* are characterized by Assemblage III, including nine species of seven genera with the index species. The *Fellerites gratus* Zone ostracode assemblage has been found three meters above the base of the Bashkirian Stage drawn based on the first appearance of the conodont marker species *Declinognathodus noduliferus* (Ellison et Graves, 1941).

Keywords: ostracodes, Lower Carboniferous, Middle Carboniferous, Southern Urals

Введение

Разрез Мурадымово расположен в Центрально-Уральской зоне Южного Урала, в северо-западной части Зилаирского мегасинклиниория и представлен в карбонатно-терригенной фации. Разрез

детально изучен и является одним из лучших (по полноте) разрезов пограничных отложений нижнего – среднего карбона.

Первоначально разрез был послойно описан и расчленен на зоны фораминифер и конодонтов [Кулагина, Пазухин, 1986], позже были изучены

Для цитирования: Кочетова Н.Н. Остракоды пограничных отложений нижнего – среднего карбона в разрезе Мурадымово на Южном Урале // Геологический вестник. 2018. №3. С. 42–49. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-2>.

For citation: Kochetova N.N. Ostracodes of the Lower – Middle Carboniferous Boundary Layers in the Muradymovo Section of the Southern Urals//Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P.42–49. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-2>.

аммоноидеи и остракоды [Кулагина и др., 2000, 2001, 2002; Kulagina et al., 2014a]. Серпуховский ярус представлен косогорским, противинским и юльябаевским горизонтами, башкирский ярус — сюранским подъярусом, расчлененным на богдановский и каменногорский горизонты. Данный интервал соответствует бухарчинской свите [Хворова, 1961].

Разрез может служить эталоном нижней границы башкирского яруса [Алексеев и др., 2013; Кулагина и др., 2013]. В настоящей статье приводятся сведения о составе комплексов остракод, которые пополнены 20-ю видами, проведен биостратиграфический анализ и сопоставление остракодовых зон с зонами фораминифер и конодонтов.

Материал и методы исследования

Первые остракоды были получены из известняков после растворения их В.Н. Пазухиным в 10% уксусной кислоте с целью выделения конодонтов. Это были в основном разрозненные тонкостенные и хрупкие створки, реже целые раковины, иногда с сохранившимися структурными и скульптурными элементами.

После повторных сборов остракоды выделялись механическим методом — дроблением пород в щековой дробилке, отмывкой на капроновом сите, высушиванием, рассеиванием на фракции (2, 1, 0,5, 0,25 мм) и просмотром их под бинокуляром МБС-1.

Характеристика комплексов остракод

Сообщество остракод из отложений нижне- среднего карбона разреза Мурадымово весьма разнообразно и представлено более чем 60 таксонами из 38 родов. До вида определены 46 таксонов, остальные оставлены с открытой номенклатурой. Остракоды представлены в основном формами, относящимися к парапархитидо-хельдиидо-бэрдиидовым ассоциациям, в которых наряду с подокопидами — представителями родов *Chamishaella*, *Dorsoobliquella*, *Rectonaria*, *Healdia*, *Bairdia*, *Bairdiacypris*, *Basslerella*, *Macrocypris*, *Microcheilinella*, *Roundsyella*, значительную роль играют палеокопиды (кирбиокопиды — *Kirkbya* и *Amphissites*).

Остракодовое сообщество содержит бентосные формы (эйфельский экотип), представленные апархитидами (*Javatius*, *Coeloenellina*, *Libumella*, *Fellerites*), кирбиеллидами (*Kirkbyella*), кирбияцями (*Kirkbya*, *Amphissites*, *Ectodemites*, *Polytylites*, *Amphizona*, *Editia*, *Kellettina*), клоеденеляциями (*Lim-*

noprimitia, *Kirkbyina*), парапархитидами (*Shishaella*, *Shivaella*, *Chamishaella*, *Microcoeloenella*, *Dorsoobliquella*), бэрдиидами (*Bairdia*, *Bairdiacypris*, *Bairdiella*, *Basslerella*, *Acratia*, *Bohlenatia*, *Bairdiocypris*, *Acanthoscapha*, *Macrocypris*), реже хельдиидами (*Healdia*, *Bolbozoella*) и поликопидами (*Polycope*) — обитателями относительно мелководного морского шельфа из отрядов *Palaeocopida*, *Platycopida*, *Metacopida*, *Podocopida* и *Cladocopida*.

По остракодам в разрезе Мурадымово выделяются три последовательных комплекса, характеризующие уральские региональные горизонты. Их состав приведен ниже (рис. 1, 2).

Комплекс остракод I, зона *Pseudoparaparchites celsus*, обнаружен в верхней части юльябаевского горизонта серпуховского яруса (сл. 8; обр. 74/3, 74/9). Здесь в известняках серых и коричневато-серых, средне- и тонкослоистых, микротовых, глинистых, спикуловых, микрослоистых, с прослойками мелкодетритовых, сферово-сгустковых, с радиоляриями, фораминиферами, мшанками и водорослями присутствуют *Coeloenellina serotina* Kotschetkova, 1983, *Chamishaella uniformis* Kotschetkova, 1983, *Dorsoobliquella ovalis* Kotschetkova in Атлас..., 1979, *Pseudoparaparchites celsus* N. Kotchetkova, 1991, *Amphissites centronotus* (Ulrich et Bassler, 1906), *Ectodemites tumidus* Cooper, 1941, *E. planus* Cooper, 1941, *Editia* sp., *Kirkbyina tenella* N. Kotchetkova in Кулагина и др., 1992, *Orthonaria* sp., *Rectoplacera* sp. 1, *Healdia ikensis* N. Kotchetkova in Кулагина и др., 1992, *H. askynensis* Kotschetkova 1983, *H. cornuta* Posner, 1951, *Bolbozoella inflata* Gründel, 1975, *Rectonaria accepta* N. Kotchetkova in Кулагина и др., 1992, *Triplacera imperspicua* N. Kotchetkova in Кулагина и др., 1992, *Bairdia nikomagensis* Posner, 1951, *Acratia* sp., *Bohlenatia inornata* (Cordell, 1952), *Acanthoscapha limata* N. Kotchetkova in Кулагина и др., 1992, *Basslerella subcrassa* Kotschetkova, 1983, *Acratia* sp., *Microcheilinella ? shiloii* Bless in Simakov et al., 1984.

Совместно с этим сообществом остракод встречены фораминиферы зоны *Monotaxinoides transitorius* и конодонты зоны *Gnathodus bollandensis* (рис. 3).

Комплекс остракод II, зона *Fellerites gratus*, характеризует нижнюю часть богдановского горизонта (сл. 9а, верхняя часть — 11; обр. 76/3, 76/7, 77/1, 77/4, 78, 80/1). Приблизительно в 3 м от основания сл. 9а (обр. 76/3) и выше в известняках серых, средне- и тонкослоистых, с фораминиферами, водорослями, криноидиями, конодонтами и остатками другой фауны встречены остракоды: *Javatius kisilensis* (Kotschetkova in Иванова и др., 1975), *Chamishaella*

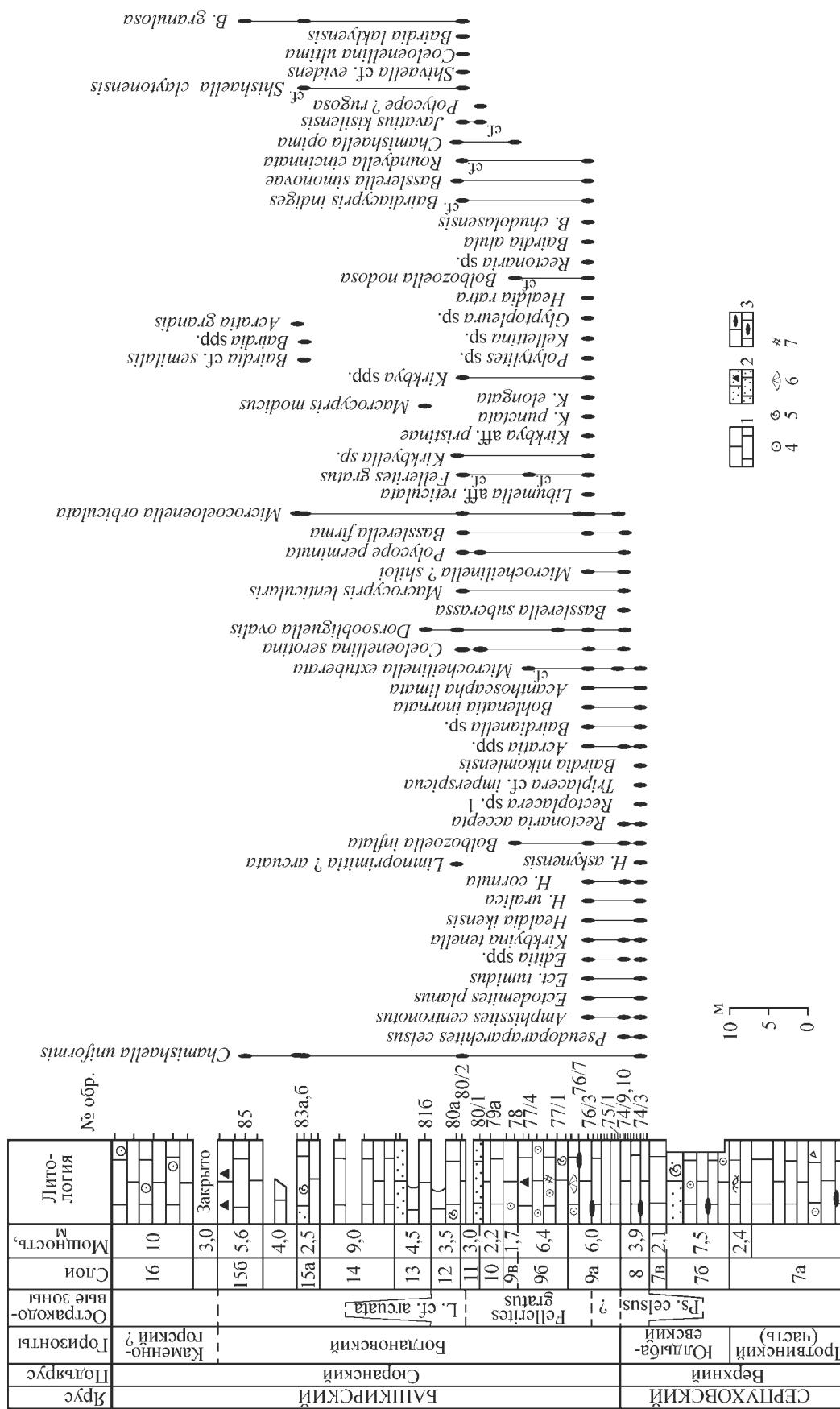


Рис. 1. Распространение остракод в пограничных отложениях нижнего – среднего карбона разреза Мурдымово. Стратиграфическая колонка по [Kulagina et al., 2014b]

THE JOURNAL OF CLIMATE

Fig. 1. Distribution of ostracods in the sediments of the Lower–Middle Carboniferous boundary section of Muradyovo. A stratigraphic column by [Kulagina et al., 2014b]

opima Kotschetkova, 1983, *Healdia procerula* Kotschetkova, 1983, *Bairdia (Bairdia) chudolasensis* Kotschetkova, 1983, *B. (B.) alula* Kotschetkova, 1983, *Bairdacypris indiges* Kotschetkova, 1983, *Basslerella simonovae* Kotschetkova, 1983, *Polycope? rugosa* Kotschetkova, 1983, а также *Healdia ratra* Gründel, 1961, *Bolbozoella nodosa* Robinson, 1959, разнообразные киркбии — *Kirkbya punctata* Kellett, 1933, *K. elongata* Cooper, 1941, *K. aff. pristinae* Zanina, 1956 и др., присутствуют *Amphisona* sp., *Polytylites* sp., *Editia* spp., *Kellettina* sp., *Kirkbyella* sp. (рис. 1, 2). В этом интервале присутствуют фораминиферы зон *Plectostaffella varvariensis* и *Pl. bogdanovkensis*, конодонты зоны *Declinognathodus noduliferus* (см. рис. 3).

Комплекс остракод III, слой с *Limnoprimitia cf. arcuata* (см. рис. 1, 2). Немногочисленные формы, составляющие третий комплекс, выделены из известняков серых, тонкозернистых, фораминиферовых (сл. 12–15б, см. рис. 1, 2). В обр. 80/2, 80а, 81б, 83а, 83б, 85 присутствуют единичные *Chamishaella uniformis* Kotschetkova, 1983, *Ch. opima* Kotschetkova, 1983, *Dorsoobliquella ovalis* Kotschetkova, in Атлас..., 1979, *Microcoeloenella orbiculata* Kotschetkova, in Атлас..., 1979, *Limnoprimitia cf. arcuata* (Bean, 1936), *Acratia grandis* Kotschetkova, 1983. В обр. 83а разнообразны бэрдии, в их числе *Bairdia cf. granulosa* Girty, 1910, *Bairdia (Cryptobairdia) cf. seminalis* Knight, 1928.

Совместно с остракодами встречены фораминиферы зоны *Semistaffella minuscularia* и конодонты зоны *Idiognathoides sinuatus* (см. рис. 3).

Обсуждение результатов

Большинство видов комплекса I имеют преимущественное развитие в серпуховских отложениях (*Kirkbyina tenella* N. Kotchetova in Кулагина и др., 1992, *Healdia cornuta* Posner, 1951, *H. ikensis* N. Kotchetova in Кулагина и др., 1992, *Bolbozoella inflata* Gründel, 1975, *Rectonaria accepta* N. Kotchetova in Кулагина и др., 1992, *Triplacera imperspicua* N. Kotchetova in Кулагина и др., 1992, *Bairdia nikomagensis* Posner, 1951, *Bohlenatia inornata* (Cordell, 1952), *Acanthoscapha limata* N. Kotchetova in Кулагина и др., 1992). Зона *Pseudoparaparchites celsus* характеризует худолазовский (протвинский) и нижнюю часть юлдыбаевского (чернышевского) горизонта серпуховского яруса в разрезах цефалоподовых фаций Южного Урала (Верхняя Кардаиловка, Шолак-Сай) [Кулагина и др., 1992, 2001]. В разрезе Мурадымово в комплексе зоны отмечено появление форм, описанных ранее [Кочеткова, 1983] из нижнебашкирских отложений: *Coeloenellina serotina*

Kotschetkova, 1983, *Chamishaella uniformis* Kotschetkova, 1983, *Dorsoobliquella ovalis* Kotschetkova in Атлас..., 1979, *Healdia askynensis* Kotschetkova 1983, *Basslerella subcrassa* Kotschetkova, 1983.

Нижняя граница зоны *Fellerites gratus* устанавливается по появлению вида-индекса. Комплекс имеет своеобразный состав. В нем присутствуют виды, переходящие из нижележащих верхнесерпуховских слоев в сообщество с видами, обычно характеризующими башкирские отложения на Южном Урале [Кочеткова, 1983].

В комплексе III обнаружена *Limnoprimitia cf. arcuata* (Bean, 1936), что не противоречит отнесению этой части разреза к средней и верхней частям богдановского горизонта [Кулагина и др., 1992, 2001].

Комплексы остракод, описанные из разреза Мурадымово, пока известны только на Южном Урале. Так, зона *Pseudoparaparchites celsus* установлена в разрезах Верхняя Кардаиловка, Кия и Шолак-Сай [Кулагина и др., 1992]; зона *Fellerites gratus* — в разрезах Богдановка, Аккермановский карьер (в неполном объеме) и Увелька (стратотип зоны) [Кулагина и др., 2001]; зона *Limnoprimitia arcuata* — в разрезах Увелька и Богдановка [Кулагина и др., 2001], Лаклы, Худолаз, Бол. Кизил и Мал. Уртазымка [Кочеткова, 1983].

К сожалению, во всех указанных разрезах не установлена смыкаемость зон на границе серпуховского и башкирского ярусов, поскольку присутствуют не охарактеризованные остракодами интервалы. В разрезе Мурадымово же этот интервал имеет наименьшую мощность.

Выводы

1. В результате проведенных исследований были доизучены комплексы остракод нижне-среднекаменноугольных отложений разреза Мурадымово и список таксонов был пополнен 20-ю новыми видами — из отложений в настоящее время известно 60 таксонов из 38 родов остракод.

2. Палеоэкологический анализ состава комплексов показал, что остракоды представлены бентосными обитателями относительно мелководного морского шельфа.

3. На основе биостратиграфического анализа распределения остракод в нижне-среднекаменноугольных отложениях разреза Мурадымово выделены три комплекса остракод и проведено сопоставление остракодовых зон с зонами фораминифер и конодонтов.

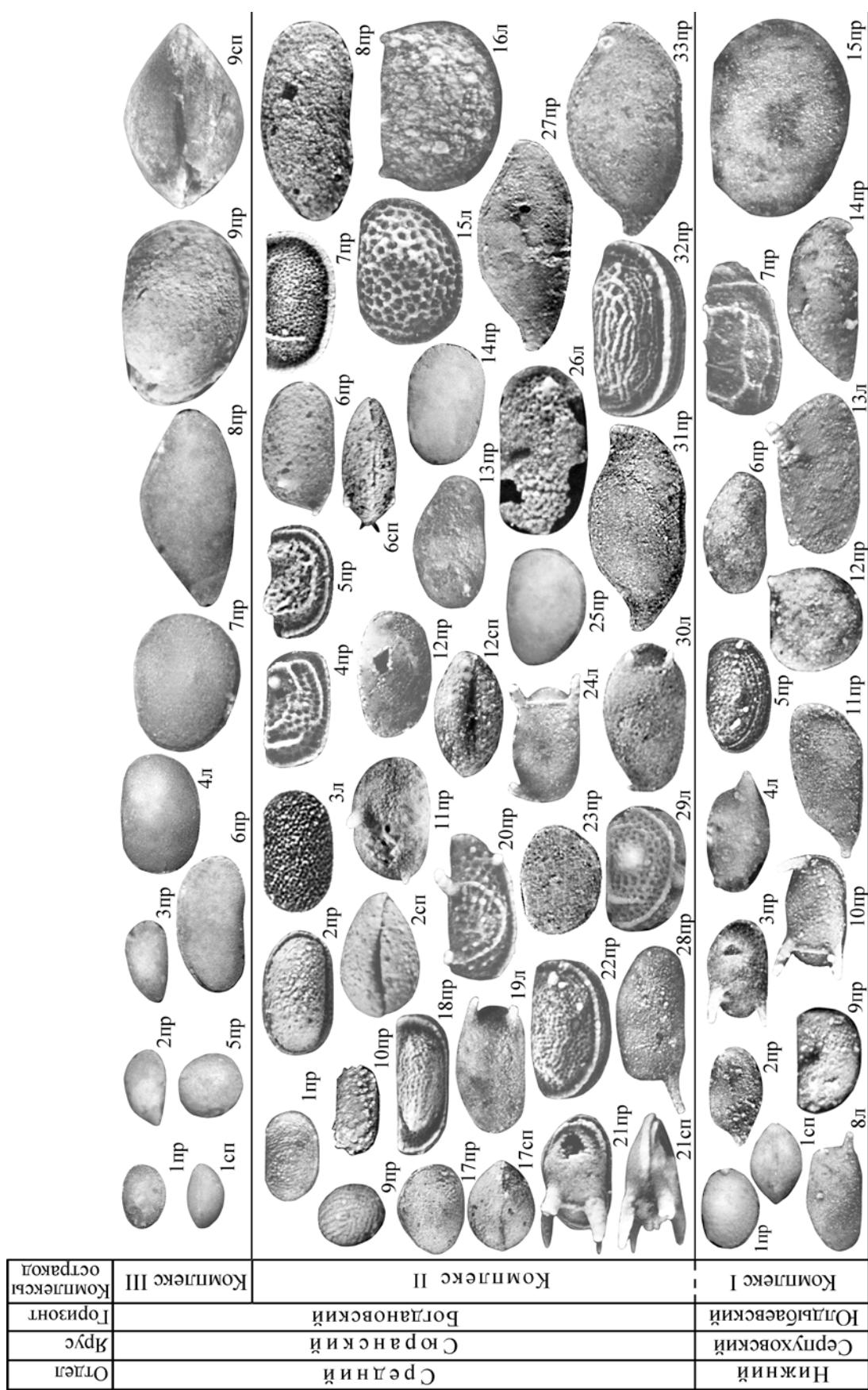


Рис. 2. Остракоды из разреза Мурадымово

На рисунке рядом с порядковым номером для различных положений раковины принятые следующие буквенные обозначения: пр — вид со стороны правой створки, л — вид со стороны левой створки, сп — вид со стороны спинного края.

Комплекс остракод I — зона *Pseudoparaparchites celsus*; нижний карбон, серпуховский ярус, верх Юльдыбаевского горизонта: **Фиг. 1.** *Microcoeloenella orbiculata* Kotschetkova, in Атлас, 1979; обр. 74/9; **Фиг. 2, 4.** *Rectoplacera* sp. 1; обр. 74/3; **Фиг. 3.** *Healdia askynensis* Kotschetkova, 1983; обр. 74/3; **Фиг. 5.** *Ectodemites tumidus* Cooper, 1941; обр. 74/3; **Фиг. 6.** *Bolbozoella inflata* Gründel, 1975; обр. 74/3; **Фиг. 7.** *Editia* sp. 3; обр. 74/9; **Фиг. 8.** *Healdia cornuta* Posner, 1951; обр. 74/3; **Фиг. 9.** *Kirkbyina tenella* N. Kotchetova in Kulagina и др., 1992; обр. 74/3; **Фиг. 10.** *Healdia ikensis* N. Kotchetova in Kulagina и др., 1992; обр. 74/3; **Фиг. 11.** *Bohlenatia inornata* (Cordell, 1952); обр. 74/3; **Фиг. 12.** *Pseudoparaparchites celsus* N. Kotchetova, 1991; обр. 74/3; **Фиг. 13.** *Rectonaria accepta* N. Kotchetova, in Kulagina и др., 1992; обр. 74/9; **Фиг. 14.** *Acratia* sp.; обр. 74/3; **Фиг. 15.** *Chamishaella uniformis* Kotschetkova, 1983; обр. 74/3.

Комплекс остракод II — зона *Fellerites gratus*; средний карбон, башкирский ярус, низы Богдановского горизонта. Все экземпляры из обр. 76/3, кроме фиг. 9, 14 и 25: **Фиг. 1.** *Scrobicula teres* Gurevitsch, 1959; **Фиг. 2.** *Microcheilinella extuberata* Samoilova et Smirnova, 1960; **Фиг. 3.** *Roundyella cincinnata* (Posner, 1951); **Фиг. 4.** *Editia* sp. 1; **Фиг. 5.** *Kellettina* sp.; **Фиг. 6.** *Rectonaria* sp. 2; **Фиг. 7.** *Kirkbya aff. pristinae* Zanina, 1956; **Фиг. 8.** *Bairdiocypris indiges* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 9.** *Polycopae?* rugosa Kotschetkova, 1983; обр. 80/1; **Фиг. 10.** *Microcheilinella?* shiloi Bless in Simakov et al., 1984; **Фиг. 11.** *Rectonaria* sp. 1; **Фиг. 12.** *Coeloenellina serotina* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 13.** *Bolbozoella inflata* Gründel, 1975; **Фиг. 14.** *Javatius kisilensis* (Kotschetkova in Ivanova и др., 1975); обр. 80/2; **Фиг. 15.** *Libumella reticulata* Robinson, 1978; **Фиг. 16.** *Fellerites gratus* N. Kotchetova et Vakula, in Kulagina и др., 1992; **Фиг. 17.** *Basslerella simonovae* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 18.** *Kirkbya elongata* Cooper, 1941; **Фиг. 19.** *Healdia procerula* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 20.** *Editia* sp. 2; **Фиг. 21.** *Healdia uralica* N. Kotchetova in Kulagina и др., 1992; **Фиг. 22.** *Kirkbya aff. punctata* Kellett, 1933; **Фиг. 23.** *Microcoeloenella orbiculata* Kotschetkova, in Атлас..., 1979; **Фиг. 24.** *Healdia ikensis* N. Kotchetova in Kulagina и др., 1992; **Фиг. 25.** *Chamishaella opima* Kotschetkova, 1983; обр. 78; **Фиг. 26.** *Kirkbyella* sp.; **Фиг. 27.** *Bairdia alula* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 28.** *Healdia cornuta* Posner, 1951; **Фиг. 29.** *Amphissites centronotus* (Ulrich et Bassler, 1906); **Фиг. 30.** *Healdia ratra* Gründel, 1961; **Фиг. 31.** *Acanthoscapha limata* N. Kotchetova, in Kulagina и др., 1992; **Фиг. 32.** *Kirkbya* sp. B; **Фиг. 33.** *Bairdia chudolasensis* Kotschetkova, 1983.

Комплекс остракод III — средний карбон, башкирский ярус, средняя — верхняя части Богдановского горизонта: **Фиг. 1.** *Dorsoobliquella ovalis* Kotschetkova, in Атлас..., 1979; обр. 81б; **Фиг. 2.** *Macrocypris modicus* Kotschetkova, 1983; обр. 81б; **Фиг. 3.** *Macrocypris lenticularis* Cooper, 1946; обр. 80/2; **Фиг. 4.** *Javatius kisilensis* (Kotschetkova in Ivanova и др., 1975); обр. 83а; **Фиг. 5.** *Polycopae?* perminta (Kellett, 1933); обр. 80/2; **Фиг. 6.** *Bairdiocypris indiges* Kotschetkova, 1983; обр. 80/2; **Фиг. 7.** *Chamishaella uniformis* Kotschetkova, 1983; обр. 80/2; **Фиг. 8.** *Bairdia aff. alula* Kotschetkova, 1983; обр. 83а; **Фиг. 9.** *Chamishaella opima* Kotschetkova, 1983; обр. 80а.

Fig. 2. Ostracodes from the Muradymovo section

In the figure, next to the sequence number for the different positions of the shell, the following letter symbols are taken: пр — view from the right wing, л — view from the side of the left leaf, сп — view from the side of the dorsal margin.

Ostracode complex I — zone *Pseudoparaparchites celsus*; Lower Carboniferous, Serpukhovian, the tops of the Yuldybaevian: **Фиг. 1.** *Microcoeloenella orbiculata* Kotschetkova, in Атлас..., 1979, sample no. 74/9; **Фиг. 2, 4.** *Rectoplacera* sp. 1; sample no. 74/3; **Фиг. 3.** *Healdia askynensis* Kotschetkova, 1983; sample no. 74/3; **Фиг. 5.** *Ectodemites tumidus* Cooper, 1941; sample no. 74/3; **Фиг. 6.** *Bolbozoella inflata* Gründel, 1975; sample no. 74/3; **Фиг. 7.** *Editia* sp. 3; sample no. 74/9; **Фиг. 8.** *Healdia cornuta* Posner, 1951; sample no. 74/3; **Фиг. 9.** *Kirkbyina tenella* N. Kotchetova in Kulagina et al., 1992; sample no. 74/3; **Фиг. 10.** *Healdia ikensis* N. Kotchetova in Kulagina et al., 1992; sample no. 74/3; **Фиг. 11.** *Bohlenatia inornata* (Cordell, 1952); sample no. 74/3; **Фиг. 12.** *Pseudoparaparchites celsus* N. Kotchetova, 1991; sample no. 74/3; **Фиг. 13.** *Rectonaria accepta* N. Kotchetova, in Kulagina et al., 1992; sample no. 74/9; **Фиг. 14.** *Acratia* sp.; sample no. 74/3; **Фиг. 15.** *Chamishaella uniformis* Kotschetkova, 1983; sample no. 74/3.

Ostracode complex II — zone *Fellerites gratus*; Middle Carboniferous, Bashkirian, the bottoms of the Bogdanovian. All specimens from sample no. 76/3, except Fig. 9, 14 and 25: **Фиг. 1.** *Scrobicula teres* Gurevitsch, 1959; **Фиг. 2.** *Microcheilinella extuberata* Samoilova et Smirnova, 1960; **Фиг. 3.** *Roundyella cincinnata* (Posner, 1951); **Фиг. 4.** *Editia* sp. 1; **Фиг. 5.** *Kellettina* sp.; **Фиг. 6.** *Rectonaria* sp. 2; **Фиг. 7.** *Kirkbya aff. pristinae* Zanina, 1956; **Фиг. 8.** *Bairdiocypris indiges* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 9.** *Polycopae?* rugosa Kotschetkova, 1983; sample no. 80/1; **Фиг. 10.** *Microcheilinella?* shiloi Bless in Simakov et al., 1984; **Фиг. 11.** *Rectonaria* sp. 1; **Фиг. 12.** *Coeloenellina serotina* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 13.** *Bolbozoella inflata* Gründel, 1975; **Фиг. 14.** *Javatius kisilensis* (Kotschetkova in Ivanova et al., 1975); sample no. 80/2; **Фиг. 15.** *Libumella reticulata* Robinson, 1978; **Фиг. 16.** *Fellerites gratus* N. Kotchetova et Vakula, in Kulagina et al., 1992; **Фиг. 17.** *Basslerella simonovae* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 18.** *Kirkbya elongata* Cooper, 1941; **Фиг. 19.** *Healdia procerula* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 20.** *Editia* sp. 2; **Фиг. 21.** *Healdia uralica* N. Kotchetova in Kulagina et al., 1992; **Фиг. 22.** *Kirkbya aff. punctata* Kellett, 1933; **Фиг. 23.** *Microcoeloenella orbiculata* Kotschetkova, in Атлас..., 1979; **Фиг. 24.** *Healdia ikensis* N. Kotchetova in Kulagina et al., 1992; **Фиг. 25.** *Chamishaella opima* Kotschetkova, 1983; sample no. 78; **Фиг. 26.** *Kirkbyella* sp.; **Фиг. 27.** *Bairdia alula* Kotschetkova, 1983; **Фиг. 28.** *Healdia cornuta* Posner, 1951; **Фиг. 29.** *Amphissites centronotus* (Ulrich et Bassler, 1906); **Фиг. 30.** *Healdia ratra* Gründel, 1961; **Фиг. 31.** *Acanthoscapha limata* N. Kotchetova, in Kulagina et al., 1992; **Фиг. 32.** *Kirkbya* sp. B; **Фиг. 33.** *Bairdia chudolasensis* Kotschetkova, 1983.

Ostracode complex III — Middle Carboniferous, Bashkirian, middle — upper parts of the Bogdanovian Horizon: **Фиг. 1.** *Dorsoobliquella ovalis* Kotschetkova, in Атлас..., 1979, sample no. 81б; **Фиг. 2.** *Macrocypris modicus* Kotschetkova, 1983; sample no. 81б; **Фиг. 3.** *Macrocypris lenticularis* Cooper, 1946; sample no. 80/2; **Фиг. 4.** *Javatius kisilensis* (Kotschetkova in Ivanova et al., 1975); sample no. 83а; **Фиг. 5.** *Polycopae?* perminta (Kellett, 1933); sample no. 80/2; **Фиг. 6.** *Bairdiocypris indiges* Kotschetkova, 1983; sample no. 80/2; **Фиг. 7.** *Chamishaella uniformis* Kotschetkova, 1983; sample no. 80/2; **Фиг. 8.** *Bairdia aff. alula* Kotschetkova, 1983; sample no. 83а; **Фиг. 9.** *Chamishaella opima* Kotschetkova, 1983; sample no. 80а.

Первый комплекс характеризует остракодовую зону *Pseudoparaparchites celsus* и соответствует фораминиферовой зоне *Monotaxinooides transitorius* и конодонтовой зоне *Gnathodus bollandensis*.

Второй комплекс (зона *Fellerites gratus*) встречен совместно с фораминиферами зон *Plectostaffella*

varvariensis и *Pl. bogdanovkensis* и конодонтами зоны *Declinognathodus noduliferus*.

Третий комплекс с *Limnoprinitia cf. arcuata* (Bean, 1936) встречен совместно с фораминиферами зоны *Semistaffella minuscularia* и конодонтами зоны *Idiognathoides sinuatus*.

Южный Урал					
Серпуховский	Башкирский	Ярус	Фораминиферы	Конодонты	Остракоды
Верхний	Сюранский	Поляркус			
Юлдыбаевский	Богдановский Каменно-горский	Горизонт	<i>Semistaffella minuscularia</i>	<i>Idiognathoides sinuatus</i>	<i>? Limnoprimitia cf. arcuata</i>
			<i>Plectostaffella bogdanovkensis</i>	<i>Declinognathodus noduliferus</i>	<i>Fellerites gratus</i>
			<i>Plectostaffella varvariensis</i>		<i>? Pseudoparaparchites celsus</i>
			<i>Monotaxinoides transitorius</i>	<i>Gnathodus bollandensis</i>	

Рис. 3. Соотношение фаунистических зон в разрезе Мурадымово по [Kulagina et al., 2014b] (с дополнениями)

Fig. 3. The relations of faunal zones in the Muradymovo section is [Kulagina et al., 2014b] (with additions)

Комплексы остракод нижнего – среднего карбона, описанные из разреза Мурадымово, известны только на Южном Урале в разрезах Верхняя Кардаиловка, Шолак-Сай, Кия, Богдановка, Аккермановский карьер и Увелька.

На современном этапе пока затруднительно охарактеризовать границу между нижним и средним карбоном по остракодам в связи с присутствием небольших интервалов, не охарактеризованных этой группой фауны. Вероятно, дальнейшие исследования и поиски новых разрезов позволят восполнить существующий пробел.

Автор благодарит Г.А. Данукалову, внимательно прочитавшую рукопись и сделавшую ряд ценных замечаний, а также Е.И. Кулагину за консультации.

Исследования проведены в соответствии с планом научно-исследовательских работ по Гос. заданию, тема 0252-2014-0002 (ИГ УФИЦ РАН).

Список литературы:

Алексеев А.С., Коссовая О.Л., Горева Н.В. Состояние и перспективы совершенствования общей шкалы каменоугольной системы России // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы обустройства:

Сборник статей / Всероссийская конференция, Москва, 23–25 мая 2013 г / М.А. Федонкин (отв. ред.). – М.: ГИН РАН, 2013. – С. 165–177.

Кочеткова Н.М. Остракоды среднего карбона Южного Урала / О.Л. Эйнер (отв. ред.) — М.: Наука, 1983. — 120 с.

Кулагина Е.И., Пазухин В.Н. К биостратиграфии серпуховских отложений западного борта Зилаирского мегасинклинория // Докембрий и палеозой Южного Урала. — Уфа, 1986. — С. 70—79.

Кулагина Е.И., Пазухин В.Н., Кочеткова Н.Н., Николаева С.В. Граница нижнего и среднего карбона в разрезе «Мурадымово» // Путеводитель геологических экскурсий по карбону Урала. Ч. 1: Южноуральская экскурсия / Б.И. Чувашов (отв. ред.). — Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. — С. 41–48.

Кулагина Е.И., Пазухин В.Н., Николаева С.В., Кочетова Н.Н. Зональное расчленение сиоранского горизонта башкирского яруса на Южном Урале по аммоноидеям, конодонтам, фораминиферам и остракодам // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2000. Т. 8, № 2. – С. 38–56.

Кулагина Е.И., Румянцева З.С., Пазухин В.Н., Кочетова Н.Н. Граница нижнего – среднего карбона на Южном Урале и Среднем Тянь-Шане. – М.: Наука, 1992. – 112 с.

Кулагина Е.И., Пазухин В.Н., Кочеткова Н.М., Синицына З.А., Кочеткова Н.Н. Стратотипические и опорные разрезы башкирского яруса карбона Южного Урала. — Уфа: Гилем, 2001. — 139 с.

Кулагина Е.И., Пазухин В.Н., Кочетова Н.Н., Николаева С.В., Степанова Т.И., Кучева Н.А. Стратиграфическая схема каменноугольной системы Урала и Общая стратиграфическая шкала России: взаимосвязь и общие проблемы // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и проблемы обустройства: Сборник статей / Всероссийское совещание. 23–25 мая 2013 г., / М.А. Федонкин (отв. ред.). – М.: ГИН РАН, 2013. – С. 182–184.

Хворова И.В. Флишевая и нижнемолассовая формации Южного Урала // Тр. Геол. ин-та АН СССР. Вып. 37. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 352 с.

Kulagina E., Nikolaeva S., Pazukhin V. Mississippian-Pennsylvanian Boundary Beds in the South Urals // Strati 2013, First International Congress on Stratigraphy At the Cutting Edge of Stratigraphy Springer Geology, 2014a. – P. 1039–1043. – doi.org/10.1007/978-3-319-04364-7_198

Kulagina E.I., Pazukhin V.N., Kochetova N.N., Nikolaeva S.V. Biostratigraphy and lithostratigraphy of the Mid-Carboniferous boundary beds in the Muradymovo section (South Urals, Russia) // Geological Magazine. – 2014b. – V. 151, Is. 2. – P. 269–298. Cambridge University Press, 2013. – doi.org/10.1017/S0016756813000599.

References:

Alekseyev A.S., Kossovaya O.P., Goreva N.V. Sostoyaniye i perspektivy sovershenstvovaniya obshchey shkaly kamenno-ugol'noy sistemy Rossii [General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection] // All-Russian meeting, May 23–25, 2013: Collector of articles / M.A. Fedonkin (resp. ed.). M.: GIN RAS, 2013. P. 165–177 (in Russian).

Khvorova I.V. Flishevaya i nizhnemolassovaya formatsii Yuzhnogo Urala [Flishevaya and Lower Molasses Formations of the Southern Urals] // Tr. Geol. Institute of the Academy of Sciences of the USSR. Is. 37. M.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1961. 352 p. (in Russian).

Kochetkova N.M. Ostrakody srednego karbona Yuzhnogo Urala [Ostracodes of the Middle Carboniferous of the Southern Urals] / O.L. Eynor (resp. ed.). M.: Nauka, 1983. 120 p. (in Russian).

Kulagina Ye.I., Pazukhin V.N. K biostratigrafi serpukhovskikh otlozheniy zapadnogo borta Zilairskogo megasinklinoriya. [To the biostratigraphy of the Serpukhov deposits of the western side of the Zilair megasinklonorium] // Dokembriy i paleozoy Yuzhnogo Urala. Ufa, 1986. P. 70–79 (in Russian).

Kulagina E., Nikolaeva S., Pazukhin V. Mississippian–Pennsylvanian Boundary Beds in the South Urals // Strati 2013,

First International Congress on Stratigraphy At the Cutting Edge of Stratigraphy Springer Geology, 2014a. P. 1039–1043. doi.org/10.1007/978-3-319-04364-7_198.

Kulagina E.I., Pazukhin V.N., Kochetova N.N., Nikolaeva S.V. Biostratigraphy and lithostratigraphy of the Mid-Carboniferous boundary beds in the Muradymovo section (South Urals, Russia) // Geological Magazine. 2014b. V. 151, Is. 2. P. 269–298. Cambridge University Press. 2013. doi.org/10.1017/S0016756813000599.

Kulagina Ye.I., Pazukhin V.N., Kochetova N.N., Nikolaeva S.V. Granitsa nizhnego i srednego karbona v razreze "Muradymovo" [The boundary of the Lower and Middle Carboniferous in the "Muradymovo" section] // Putevoditel' geologicheskikh ekskursiy po karbonu Urala [Guide to geological excursions on the Ural Carboniferous. Part 1. South Ural excursion] / B.I. Chuvashov (ed.). Yekaterinburg: IGIG UrO RAN, 2002. P. 41–48 (in Russian).

Kulagina Ye.I., Pazukhin V.N., Nikolayeva S.V., Kochetova N.N. Zonal'noye raschleneniye syuranskogo gorizonta bashkirskogo yarusa na Yuzhnom Urale po ammonoideyam, kodontam, foraminiferam i ostrakodam [Zonal dismemberment of the Hurricane horizon of the Bashkirian stage in the South Urals by ammonoids, conodonts, foraminifers and ostracods] // Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya. 2000. V. 8, No. 2. P. 38–56 (in Russian).

Kulagina Ye.I., Rumyantseva Z.S., Pazukhin V.N., Kochetova N.N. Granitsa nizhnego – srednego karbona na Yuzhnom Urale i Sredнем Tyan'-Shane [The boundary of the lower–middle Carboniferous in the Southern Urals and the Middle Tien Shan]. M.: Nauka, 1992. 112 p. (in Russian).

Kulagina E.I., Pazukhin V.N., Kochetkova N.M., Sinitsyna Z.A., Kochetova N.N. Stratotipicheskie i opornye razrezy Bashkirskogo yarusa carbona Yuzhnogo Urala [The stratotype and key sections of the Bashkirian Stage (Carboniferous) in the Southern Urals]. Ufa: Gilem, 2001. 139 p. (in Russian).

Kulagina E.I., Pazukhin V.N., Kochetova N.N., Nikolaeva S.V., Stepanova T.I., Kucheva N.A. Stratigraficheskaya skhema kamennougol'noy sistemy Urala i Obshchaya stratigraficheskaya shkala Rossii: vzaimosvyaz' i obshchie problemy [The carboniferous Stratigraphic scheme of the Urals and the Russian General stratigraphic scale: interdependence and shared problems] // Obshchaya stratigraficheskaya shkala Rossii: sostoyanie i problemy obustroistva: Sbornik statei / Vserossiiskoe soveshchanie [General Stratigraphic Scale of Russia: current state and ways of perfection: Collector of articles / All-Russian meeting], May 23–25, 2013 / M.A. Fedonkin (resp. ed.). M.: GIN RAS, 2013. P. 182–184 (in Russian).

Сведения об авторе:

Кочетова Наталья Николаевна, научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: kulagina@ufaras.ru

About the autor:

Kochetova Natalya Nikolaevna, Researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: kulagina@ufaras.ru

ИЗВЕСТКОВЫЕ ВОДОРОСЛИ БАШКИРСКОГО ЯРУСА (СРЕДНИЙ КАРБОН) ЗАПАДНОГО СКЛОНА ЮЖНОГО УРАЛА (РАЗРЕЗЫ АСКЫН, БАСУ, КУРЬЕЛГА)

© 2018 г. Р.М. Иванова, Е.И. Кулагина

Реферат. Приведена характеристика водорослевых комплексов башкирского яруса разрезов западного склона Южного Урала. Разрезы Ассын, Курьелга, Басу расположены в Зилимо-Зиганском районе Западно-Уральской структурно-фаунистической зоны. Комплекс водорослей, встречающихся в этих разрезах, составляют зеленые водоросли (*Chlorophyta*) и красные водоросли (*Rhodophyta*). Впервые дано распространение водорослей в разрезе Курьелга. Описан вид *Asteroaoujgalia gibshmanae* Brenckle, 2004 из разреза Ассын, встреченный на Урале и на данном стратиграфическом уровне впервые. Известные ранее экземпляры этого вида происходят из отложений визейского яруса нижнего карбона. В разрезах башкирского яруса Урала водоросли имеют большое породообразующее значение, хотя таксономическое разнообразие их не слишком велико. Определены 11 родов из отделов *Chlorophyta* и *Rhodophyta*. Зеленые водоросли представлены родами *Beresella*, *Claracrusta*, *Anthracoporellopsis*, *Donezella*; красные — родами *Asteroaoujgalia*, *Cuneiphycus*, *Eflügelia*, *Masloviporidium*, *Stacheia*, *Stacheoides*, *Ungdarella*. Наибольшее видовое разнообразие имеют зеленые водоросли рода *Donezella* (четыре вида) и красные водоросли рода *Ungdarella* (два вида). Водорослевые фации имеют широкое распространение в акавасском, ассынбашском, ташастинском и асатаяуском горизонтах башкирского яруса и верейском горизонте московского яруса.

Ключевые слова: средний карбон, башкирский ярус, Южный Урал, водоросли

BASHKIRIAN (PENNISILVANIAN) CALCAREOUS ALGAE OF THE WESTERN SLOPE OF THE SOUTHERN URALS (ASKYN, BASU AND KURIELGA SECTIONS)

Р. М. Ivanova, Е. И. Kulagina

Abstract. The Bashkirian algal assemblages of sections on the western slope of Southern Urals are characterized. The Askyn, Kurielga, and Basu sections are located in the Zilim-Zigan region of the West-Uralian Zone. These algal assemblages consist of green algae (*Chlorophyta*) and red algae (*Rhodophyta*). This is the first time that the algal distribution of the Kurielga section has been described. The species *Asteroaoujgalia gibshmanae* Brenckle, 2004 is reported from the Askyn Section, the first record for the Urals and from the Bashkirian. Previous records of this species are from the Viséan Stage (Lower Carboniferous). These are important Bashkirian rock-forming algae of the Urals, although they are not taxonomically diverse. Eleven genera of *Chlorophyta* and *Rhodophyta* have been identified. The green algae are represented by *Beresella*, *Claracrusta*, *Anthracoporellopsis*, *Donezella*; the red algae — by *Asteroaoujgalia*, *Cuneiphycus*, *Eflügelia*, *Masloviporidium*, *Stacheia*, *Stacheoides*, and *Ungdarella*. The most diverse groups are species of green algae of the genus *Donezella* (four species) and the red algae of the genus *Ungdarella* (two species). The algal facies are widespread in the Akavasian, Askynbashian, Tashastian and Asatauiian (Bashkirian Stage) and in the Véréian (Moscovian Stage).

Key words: Pennsylvanian, Bashkirian Stage, South Urals, calcareous algae

Для цитирования: Иванова Р.М., Кулагина Е.И. Известковые водоросли башкирского яруса (средний карбон) западного склона Южного Урала (Разрезы Ассын, Басу, Курьелга) // Геологический вестник. 2018. №3. С. 50–60. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-3>.

For citation: Ivanova R.M., Kulagina E.I. Bashkirian (Pennsilvanian) calcareous algae of the western slope of the Southern Urals (Askyn, Basu and Kurielga Sections) // Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P.50–60. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-3>.

Введение

В отложениях башкирского яруса западного склона Южного Урала широко распространены водоросли, которые являются породообразующими организмами в акавасском, ассынбашском, ташастинском и асатауском горизонтах [Синицына, 1975; Чувашов и др., 1984; Синицына, Синицын, 1987; Иванова, 1995, 2008, 2013; Proust et al., 1996]. В гипостратотипе башкирского яруса по р. Ассын фораминиферово-водорослевые и водорослевые известняки образуют прослои в верхней части акавасского горизонта (слои 22, 23) [Синицына, Синицын, 1987]. Фораминиферово-водорослевыми и водорослевыми известняками сложены более чем на 50% по мощности ассынбашский горизонт (мощность горизонта 40.8 м), 45–47% по мощности ташастинский и асатауский горизонты архангельского подъяруса (при мощности подъяруса около 80 м). Близкие водорослевые фации распространены в башкирском ярусе разреза Курьелга в бассейне р. Басу [Кулагина и др., 2016] и в разрезе пограничных отложений башкирского и мос-

ковского ярусов по правому склону р. Басу в известняковом карьере в 1 км юго-восточнее поворота на пос. Родинский по тракту Уфа – Белорецк [Горожанина и др., 2017]. Водоросли из разреза Ассын известны по публикациям [Богуш и др., 1990; Иванова, 2013; Proust et al., 1996]. О водорослях из башкирского яруса разрезов Курьелга и Басу приведены лишь краткие сведения [Кулагина и др., 2016; Горожанина и др., 2017]. В настоящей статье дана более полная их характеристика, уточнены некоторые определения. Разрез Басу является одним из потенциальных кандидатов в глобальные стратотипы нижней границы московского яруса [Goreva, Alekseev, 2018], поэтому информация по различным ископаемым остаткам данного разреза представляет ценность.

Разрезы Ассын, Курьелга, Басу расположены в Зилимо-Зиганском районе Западно-Уральской структурно-фациальной зоны (рис. 1). Комплексы водорослей башкирского яруса, встречающихся в этих разрезах, составляют зеленые водоросли (*Chlorophyta*) и красные водоросли (*Rodophyta*).

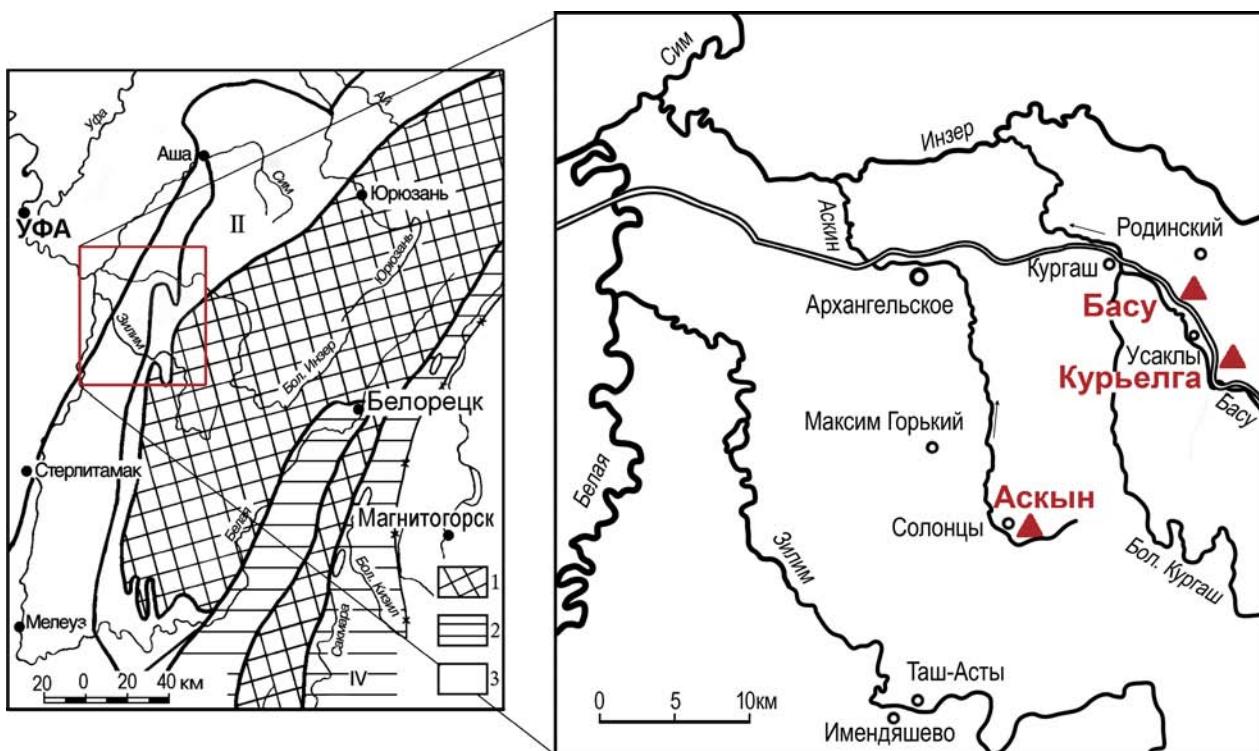


Рис. 1. Местоположение разрезов Ассын, Курьелга и Басу

Условные обозначения: 1 — допалеозойские и метаморфические комплексы пород; 2 — докаменноугольные палеозойские образования; 3 — каменноугольные и более молодые образования.

Fig. 1. Location of the Askyn, Basu, Kurielga Sections

Legend: 1 — prepaleozoic deposits and metamorphic rocks, 2 — precarboniferous paleozoic deposits, 3 — carboniferous and younger deposits.

Зеленые водоросли

Таксономический состав зеленых водорослей, встреченных в разрезах Ассын, Курьелга и Басу, следующий (табл. 1): *Beresella* sp., *Dvinella bifurcata* Maslov et Kulik, 1956, *Claracrusta calamistrata* Vachard et Montenat, 1980, *Anthracoporellopsis girtyi* (Mamet & Roux in Mamet et al., 1987), *Donezella lutugini* Maslov, 1929, *D. lunaensis* Rácz, 1965, *D. callosa* R. Ivanova, 1999. Количественно во всех разрезах преобладают *Donezella lutugini*, *D. callosa*, *D. lunaensis*. В разрезе Басу в слое донецеллового известняка мощностью 0.8 м, залегающего в кровле башкирского яруса, встречена водорось *Donezella* sp. A, стенка которой имеет довольно толстый внутренний темный слой и очень тонкий и непостоянный наружный стекловато-лучистый. Пористость стенки просматривается только у отдельных экземпляров, но отчетливо выражены неравномерные пережимы (табл. 1, фиг. 3). Эта водорось ближе всего к *D. callosa*, но не идентична ей. Изредка породообразующая роль в известняках акавасского гори-

зонта принадлежит зеленой водоросли *Claracrusta calamistrata* (табл. 1, фиг. 13), встреченной на Урале впервые. До настоящего времени в уральских разрезах карбона обычно отмечались *Claracrusta catenoides* (Homann). Во всех трех разрезах донецеллы являются породообразующими организмами, что служит отличительной особенностью башкирского яруса всего Урала. В разрезе Курьелга водорослевые известняки слагают прослои в акавасском и ассынбашском горизонтах (рис. 2). Донецелловые известняки также распространены и в нижней части верейского подъяруса московского яруса в разрезе Ассын (слои 31, 34, 35) [Синицына, Синицын, 1987], в разрезе Басу (слой 14, обр. 29) [Kulagina et al., 2009, pl. 5, fig. 22], а также в нижней десятиметровой пачке верейского подъяруса в разрезе Серять по р. Белой [Кулагина, Пазухин, 2002].

Биогермные тела массивных неслоистых известняков, сложенных донецеллами, протягиваются на многие десятки метров. На западном склоне Урала это наблюдается по р. Чусовой в разрезе «Сокол», по р. Белой у д. Серять, где донецелловые известняки имеют мощность более 1 м [Иванова,

Объяснение таблицы 1

Длина масштабной линейки 0.2 мм.

Фиг. 1, 2. *Donezella lutugini* Maslov. 1 — поперечные и близкое к продольному сечения; 2 — продольное сечение; обр. 9, разрез Басу, асатауский горизонт, шл. 2 и 1.

Фиг. 3. Донецелловый известняк, состоящий из слоевищ мелких *Donezella* sp. Продольные и поперечные сечения, обр. 10, шл. 4, разрез Басу, асатауский горизонт.

Фиг. 4—8. *Donezella lunaensis* Rácz, продольные сечения: 4 — обр. 24-5, шл. 6; 5 — обр. 24-4, шл. 3, разрез Курьелга ташастинский горизонт; 6 — обр. 24-3, шл. 6, разрез Курьелга ташастинский горизонт; 7 — обр. 10, шл. 5, разрез Басу, асатауский горизонт; 8 — ветвящиеся экземпляры, продольное сечение, обр. 24-4, шл. 2, разрез Курьелга, ташастинский горизонт.

Фиг. 9—12. *Donezella callosa* R. Ivanova, продольные сечения: 9 — обр. 24-4, шл. 2; 10 — обр. 24-3, шл. 1, оба разрез Курьелга, ташастинский горизонт; 11 — обр. 10, шл. 1; 12 — обр. 10, шл. 3, оба разрез Басу, асатауский горизонт.

Фиг. 13. Водорослевый известняк, состоящий из слоевищ *Claracrusta calamistrata* Vachard et Montenat, продольные и поперечные сечения, разрез Курьелга, обр. 24-8, шл. 1, акавасский горизонт.

Explanation of Plate 1

Scale bar is 0.2 mm.

Fig. 1, 2. *Donezella lutugini* Maslov. 1 — transverse section and close to the longitudinal sections; 2 — longitudinal section; sample 9, Basu Section, Asatauian, thin section 2 and 1.

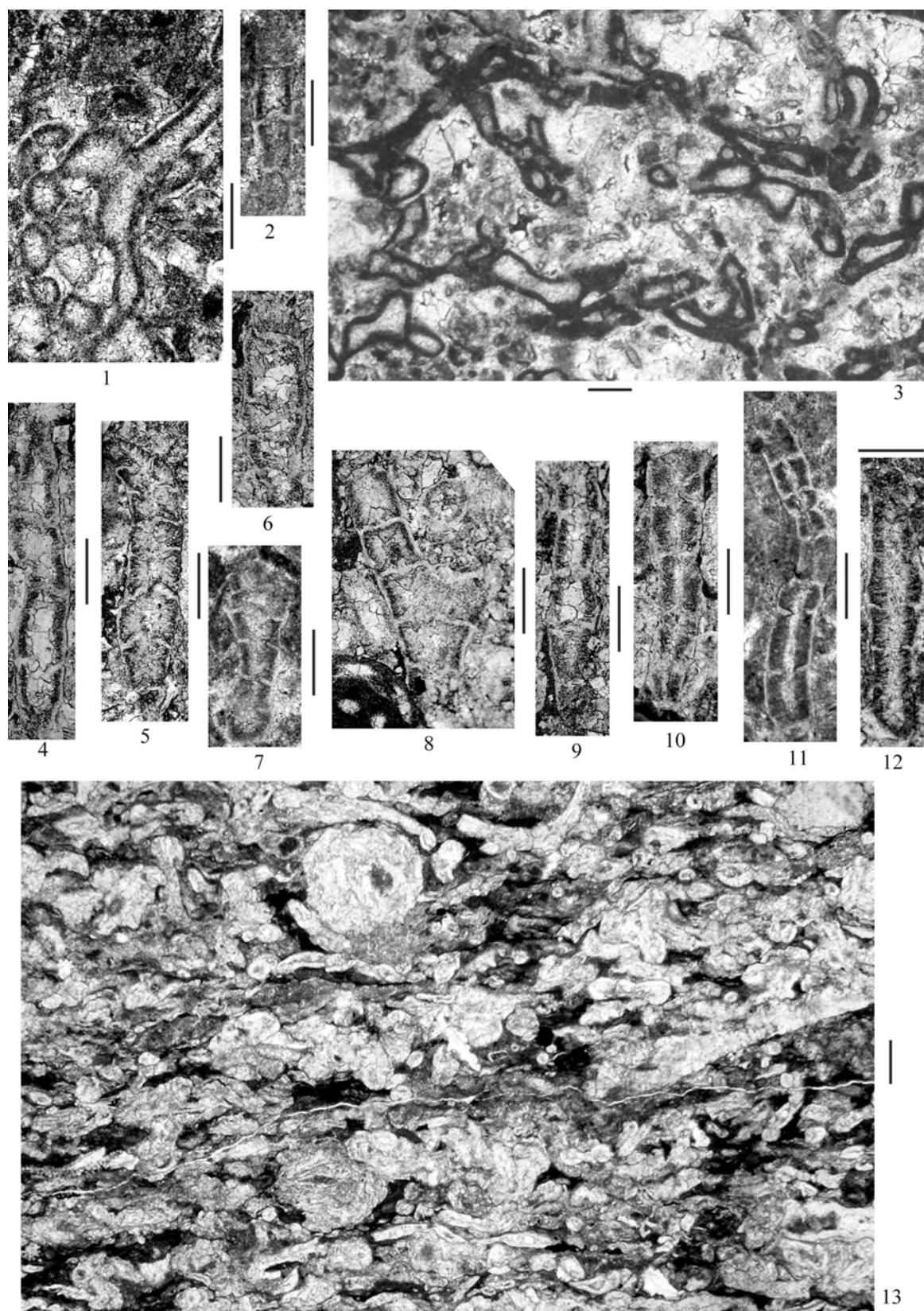
Fig. 3. Algal (*Donezella*) limestone, consisting of thallus small *Donezella* sp. Transverse and longitudinal sections, sample 10, thin section 4, Basu Section, Asatauian.

Fig. 4—8. *Donezella lunaensis* Rácz, longitudinal sections: 4 — sample 24-5, thin section 6; 5 — sample 24-4, thin section 3, Kurielga Section, Tashastian; 6 — sample 24-3, thin section 6, Kurielga Section, Tashastian; 7 — sample 10, thin section 5, Basu Section, Asatauian; 8 — branching specimens, longitudinal sections, sample 24-4, thin section 2, Kurielga Section, Tashastian.

Fig. 9—12. *Donezella callosa* R. Ivanova, longitudinal sections: 9 — sample 24-4, thin section 2; 10 — sample 24-3, thin section 1, both from Kurielga Section, Tashastian; 11 — sample 10, thin section 1; 12 — sample 10, thin section 3, both Basu Section, Asatauian.

Fig. 13. Algal limestone, consisting of *Claracrusta calamistrata* Vachard et Montenat thalli, longitudinal and transverse sections, Kurielga Section, sample 24-8, thin section 1, Akavasian.

Таблица 1. Зеленые водоросли башкирского яруса Южного Урала
 Plate 1. Green algae of the Bashkirian Stage of the Southern Urals



2008]; на восточном склоне — в разрезах башкирского яруса по рр. Миасс, Большой Кизил, Худолаз, Янгелька [Чувашов и др., 1984]. С расцветом до- нецелл исчезали фасциеллы и редкими становились красные водоросли рода *Ungdarella*. Обитали

донецеллы и сопутствующие им водоросли в условиях открытого мелкого теплого моря с нормальным солевым и газовым режимом, цепью островов и полуостровов [Чувашов и др., 1984; Иванова, 2013].

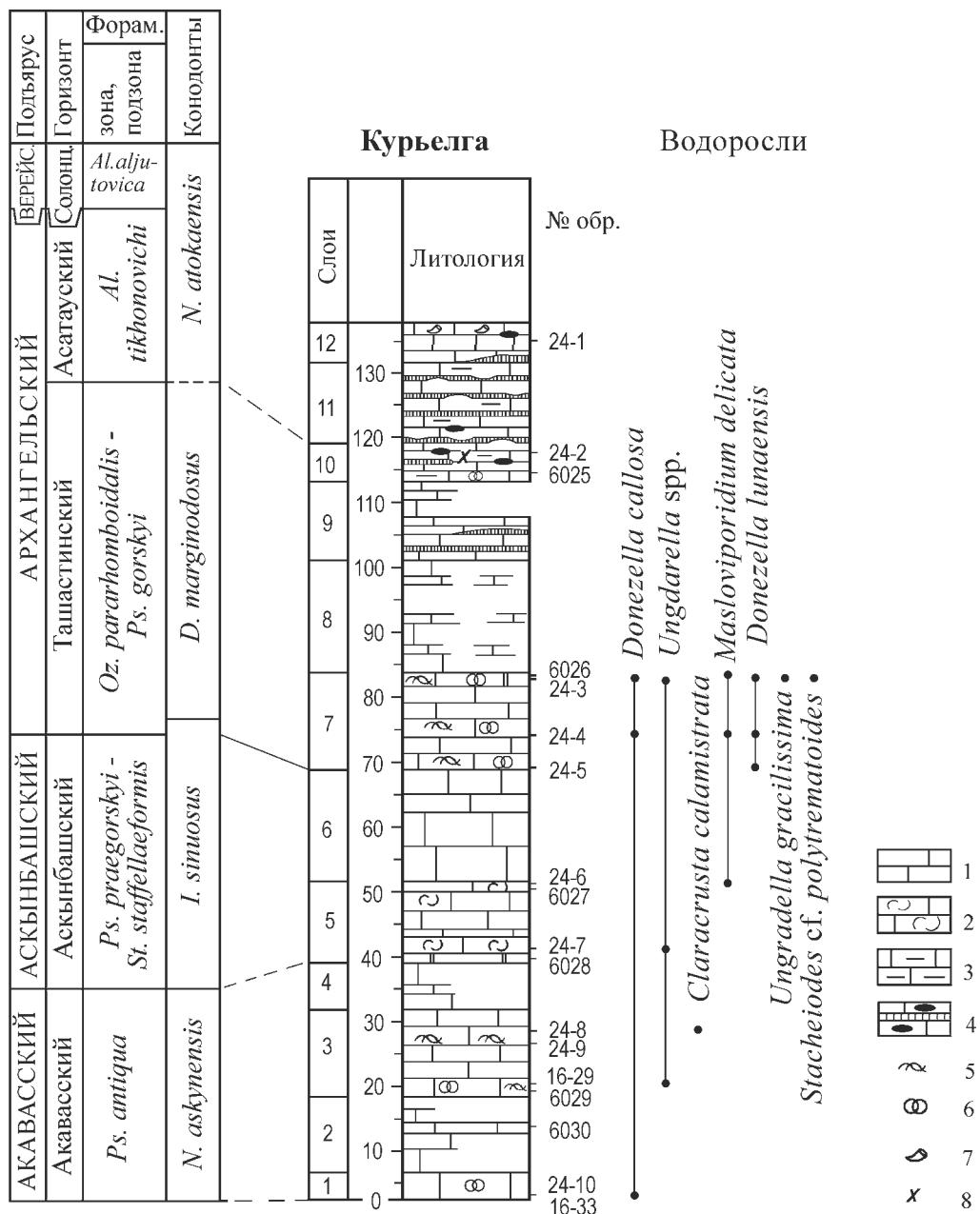


Рис. 2. Распространение известковых водорослей в разрезе Курьелга

Условные обозначения: 1—4 известняки: 1 — пелитоморфные, пелитоморфно-тонкозернистые (микритовые, мадстоуны и вакстоуны); 2 — органогенно-обломочные (биокластовые пакстоуны и грейнстоуны); 3 — глинистые; 4 — с конкрециями, линзами и прослоями кремней; 5 — водоросли; 6 — фораминиферы; 7 — кораллы; 8 — спикулы губок. Верейс. — верейский подъярус; солон. — солонцовский горизонт.

Fig. 2. Distribution range of calcareous algae in the Kurielga Section

Legend: 1—4 — limestones: 1 — mudstone, wackestone; 2 — packstone, grainstone; 3 — clayey limestone; 4 — with lenses of cherts; 5 — algae; 6 — foraminifers; 7 — corals; 8 — spicules. Верейс. — Vereian; Солон. — Soloncian.

Красные водоросли

Красные водоросли представлены следующими таксонами (табл. 2): *Asteroaoujgalia gibshmanae* Brenckle, 2004, *Cuneiphycus* sp., *Eflügelia johnsoni* (Flügel, 1966) *Masloviporodium delicata* (Berchenko, 1982), *Stacheoides* cf. *polytrematoides* (Brady, 1876), *Stacheia marginulinoides* Brady, 1876, *Ungarella gracilissima* Kulik, 1973, *U. uralica* Maslov, 1956. В ассынбашском и ташастинском горизонтах разреза Курьелга и ассынбашском горизонте разреза Ассын часто встречаются своеобразные *Masloviporodium* Groves et Mamet, 1985, условно относимые к красным водорослям. Водорось имеет слоистый таллом (слоевище), сильно разветвленный, неровный, состоящий из дугообразно изогнутых рядов клиновидных клеток, похожих на клетки *Cuneiphycus* [Groves et Mamet, 1985, p. 87]. В отечественной публикации В.П. Маслова [1973] подобные формы из карбона Донецкого бассейна были впервые изображены под названием *Cribroporidium* [Маслов, 1973, с. 26–27, рис. 19 а–с, табл. 21, фиг. 9–10] и отнесены к ложным багряным водорослям и *Contortoporidium* [Маслов, 1973, стр. 83, табл. 63, фиг. 16, 17]. Эти экземпляры не были описаны из-за неясности их систематического положения, поэтому названия *Cribroporidium* и *Contortoporidium* являются невалидными (nomen nudum). Близкие к ним формы были ранее описаны Джонсоном как *Cuneiphycus texana* (Johnson, 1960), который считал их членистыми кароллинами. В.П. Маслов был не согласен с этим и предполагал, что эти организмы относятся «...к животным, имеющим признаки губок, или гидроидных полипов...» [Маслов, 1973, стр. 26–27, 83]. Впоследствии оказалось, что подобные формы имеют широкое географическое распространение в карбоне Земного шара и большинство специалистов склонны считать их водорослями. Они были выделены в новый род *Masloviporodium* Groves et Mamet, 1985 [Groves et Mamet, 1985; Groves, 1986] с типовым видом *Donezella delicata* Berchenko, 1982 [Берченко, 1982], описанным из карбона Донбасса, тогда как паратипы вида *Masloviporodium delicata* происходят из среднекаменноугольных отложений Северной Америки, штата Арканзас. Авторы но-

вого рода для иллюстрации строения скелета привели рисунок по фотографии из работы В.П. Маслова [1973] (рис. 3), взяв названия *Cribroporidium*, *Contortoporidium* в синонимику, т.к. считали, что они представляют разные сечения одной и той же водоросли. Для доказательства этого факта приводится фотография экземпляра, на котором видны оба сечения [Groves, Mamet, 1985, Fig. 3e]. Обоснование выделения нового рода *Masloviporodium* было еще раз подтверждено более поздней работой Маме и Прэ [Mamet, Préat, 2010, pl. VIII, fig. 7–14].

Обсуждение

Понимание вида *Masloviporodium delicata* (Berchenko, 1982) остается дискуссионным. Д. Вашар и А. Масло [Vachard, Maslo, 1996] провели ревизию подобных водорослей по материалу Донбасса и полагают, что оригинальные образцы из Арканзаса, описанные как *Masloviporodium delicata* Маме и Гровсом [Groves et Mamet, 1985], принадлежат виду *Cuneiphycus texana* Johnson, 1960 и отличаются от *Masloviporodium delicata* (Berchenko, 1982) в понимании авторов [Vachard, Maslo, 1996, pl. 1, fig. 12–18, pl. 2, fig. 1–4; Proust et al., 1996, pl. 1, fig. 5–9; pl. 2, fig. 12]. Свое мнение авторы аргументируют тем, что, как они считают, подобные формы легко поддаются постдиагенетическим изменениям, с чем и связаны морфологические различия, и роды *Masloviporodium* и *Cuneiphycus* являются диагенетическими структурами. Кроме того, роды *Cuneiphycus* и *Masloviporodium* близки и к другим родам водорослей, таким как *Stacheia*, *Foliophycus* или *Eflügelia*, которые также подвержены постдиагенетическим изменениям. Вид *Masloviporodium delicata* (Berchenko, 1982) emend. Groves and Mamet, 1985 описан и иллюстрирован

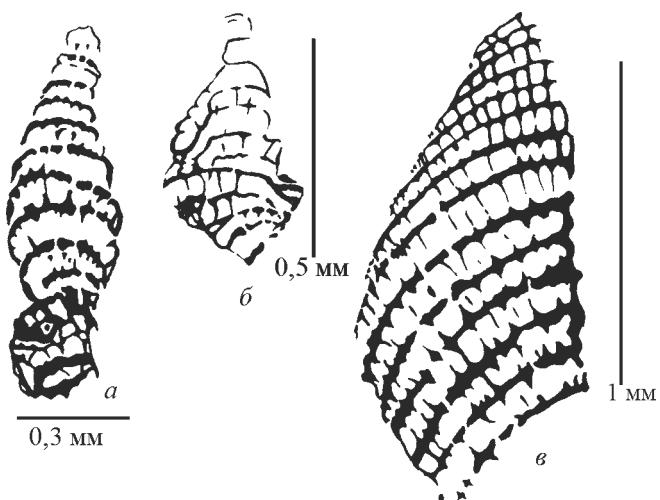


Рис. 3. Схема строения слоевища *Masloviporodium* Mamet et Groves, 1985 [Маслов, 1973, стр. 27, рис. 19]

Fig. 3. Scheme of the structure of the thallus of *Masloviporodium* according to: Maslov, 1973, p. 27, fig. 19

ранее [Богуш и др., 1990; Иванова, 2008, 2013] по большому числу экземпляров (около 100) из разрезов западного и восточного склонов Урала по рекам Нейва (акавасский горизонт), Урал (пос. 2-ая Плотина), Худолаз (аверинский и худолазовский горизонты), Янгелька (чернышевский и сюранский), Аскын (акавасский и аскынбашский). Мы рассматриваем род *Masloviporidium* в понимании Гровса и Мамет [Groves et Mamet, 1985]. По данным этих авторов *Masloviporidium delicata* имеет широкое распространение в среднем карбоне Донецкого бассейна, Талассского Алатау, Алжира, Северной Америки.

Систематическое описание

Водоросли вида *Asteroaoujgalia gibshmanae* встречены впервые на Урале и на данном стратиграфическом уровне, поэтому приводится их описание.

RODOPHYTA

Asteroaoujgalia gibshmanae Brenckle, 2004

Табл. 2, фиг. 4

Asteroaoujgalia gibshmanae: Brenckle, 2004, p. 159, pl. 7, fig. 1; pl. 8, figs. 1–7; Gibshman et al., 2009,

pl. 1, fig. 2; Гибшман, Алексеев, 2013, табл. 1, фиг. 1; 2017, с. 90–91, табл. XII, фиг. 17.

Chantonia ex gr. maslovi: Ахметшина и др., 2007, табл. CVIII, фиг. 1–3.

Описание. Водоросль крупная, состоящая из широких (350–400 мкм) радиальных ветвей длиной 600–800 мкм, прикрепленных к оси. Внутренние полости ветвей разделены горизонтальными перегородками на низкие камеры с вертикальными перегородками толщиной 10–40 мкм. Наружная стенка слоевища и радиальные перегородки состоят из темного кальцита микрограммурной структуры толщиной 40 мкм. Промежутки между радиальными перегородками заполнены кристаллами кальцита (спарит). Высота просвета между перегородками 100 мкм.

Распространение. Вид впервые был описан из нижнего карбона – верхнего визе Северо-Западного Китая [Brenckle, 2004], затем был найден в визейских отложениях Прикаспия [Ахметшина и др., 2007] и определен как *Chantonia ex gr. maslovi* (Chanton, 1965). Позднее вид был встречен в отложениях михайловского горизонта верхнего визе Новогуровского карьера Подмосковного бассейна [Гибшман, Алексеев, 2013, 2017]. Нами вид встречен

Объяснение таблицы 2

Длина масштабной линейки 0.2 мм.

Фиг. 1, 2. *Ungdarella gracilissima* Kulik. 1 — продольные сечения, разрез Аскын, слой 28, обр. 260, шл. 6; 2 — поперечное сечение, разрез Курьелга, обр. 24-3, шл. 1, ташастинский горизонт в обоих случаях.

Фиг. 3. *Ungdarella uralica* Maslov, поперечное сечение, разрез Аскын, слой 28, обр. 198а, шл. 2, возраст тот же.

Фиг. 4. *Asteroaoujgalia gibshmanae* Brenckle, продольное сечение, разрез Аскын, обр. 186 шл. 4, аскынбашский горизонт, слой 24 [Синицына, Синицын, 1987].

Фиг. 5. *Stacheiodes cf. polytrematoides* (Brady), поперечное сечение, разрез Курьелга, обр. 6026, шл. 3, ташастинский горизонт.

Фиг. 6, 7. *Masloviporidium delicata* (Berchenko) emend. Groves et Mamet, 1985 (фиг. 7 = *Cuneiphycus* sp. in Кулагина и др., 2016, табл. 1, фиг. 11), 6 — продольное сечение, 7 — слабо скошенное продольное сечение, оба экземпляра из разреза Курьелга: 6 — обр. 6026, шл. 3; ташастинский горизонт; 7 — обр. 24-6, шл. 1, аскынбашский горизонт.

Образцы из разреза Аскын 260, 198а, 186 хранятся в Геологическом музее г. Уфы (Коллекция № 640, сборы З.А. Синицыной); остальные образцы — ИГ УФИЦ РАН (коллекция Е.И. Кулагиной).

Explanation of Plate 2

Scale bar is 0.2 mm.

Fig. 1, 2. *Ungdarella gracilissima* Kulik. 1 — longitudinal sections, Askyn Section, bed 28, sample 260, thin section 6; 2 — transverse section, Kurielga Section, sample 24-3, thin section 1, both from Tashastian.

Fig. 3. *Ungdarella uralica* Maslov, transverse section, разрез Аскын, bed 28, sample 198а, thin section 2, the same age.

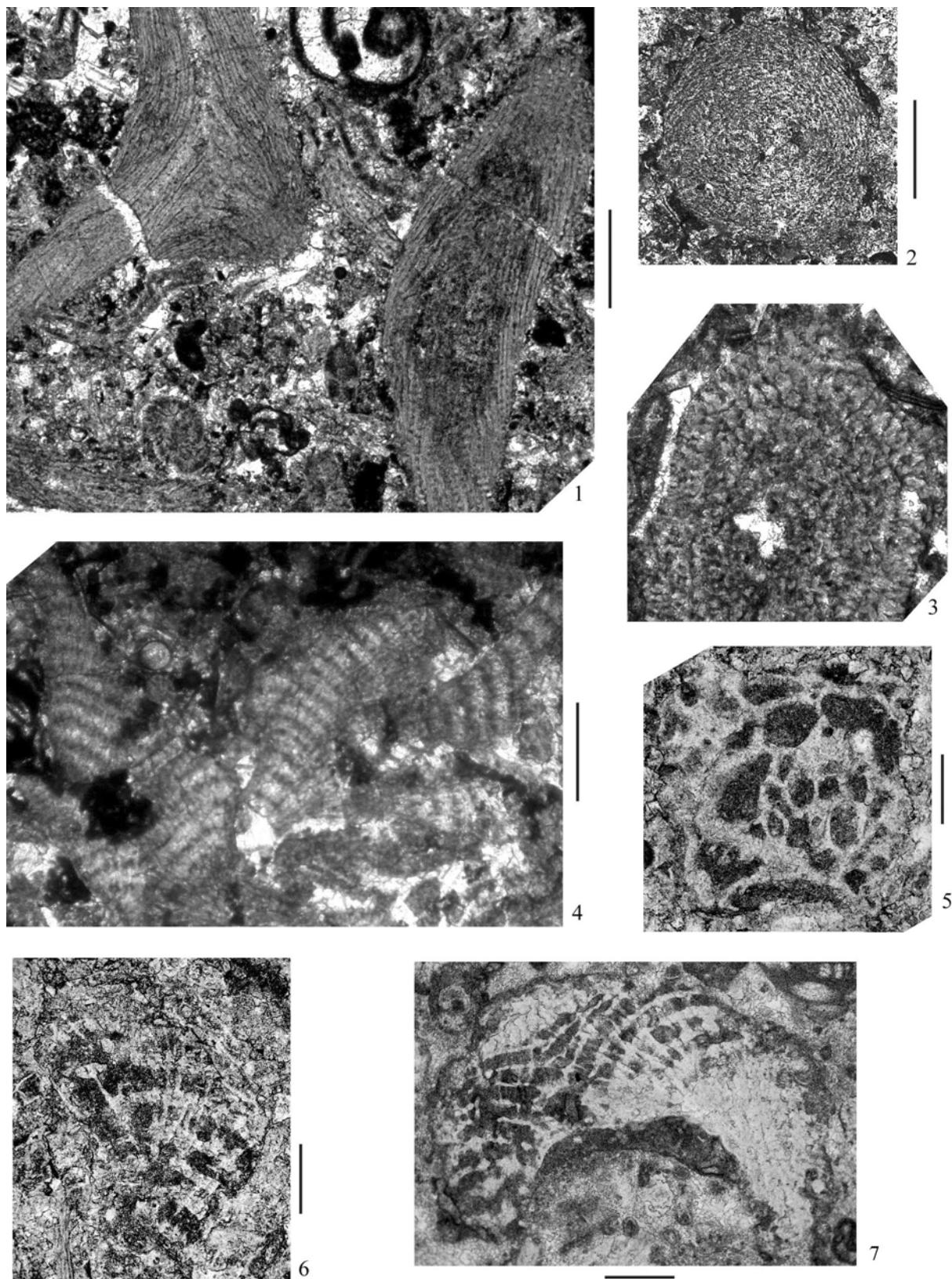
Fig. 4. *Asteroaoujgalia gibshmanae* Brenckle, longitudinal section, Askyn Section, sample 186 thin section 4, Askynbashian, bed 24 [Sinitsyna and Sinitsyn, 1987].

Fig. 5. *Stacheiodes cf. polytrematoides* (Brady), transverse section, Kurielga Section, sample 6026, thin section 3, Tashastian.

Fig. 6, 7. *Masloviporidium delicata* (Berchenko) emend. Groves et Mamet, 1985 (fig. 7 = *Cuneiphycus* sp. in Kulagina et al., 2016, plate 1, fig. 11), 6 — longitudinal section, 7 — slightly oblique section, both from Kurielga Section: 6 — sample 6026, thin section 3; Tashastian; 7 — sample 24-6, thin section 1, Askynbashian.

The specimens from Askyn Section 260, 198а, 186 are housed in the Geological Museum, Ufa (Collection No 640 of Z.A. Sinitsyna); other samples are housed in IG UFRC RAS (Institute of Geology, Ufa Science Centre, Russian Academy of Science).

Таблица 2. Красные водоросли башкирского яруса Южного Урала
Plate 2. The red algae of the Bashkirian of the Southern Urals



в башкирском ярусе среднего карбона (асынбашский горизонт), разрез Асын.

Местонахождение. Асын, башкирский ярус, асынбашский горизонт.

Выводы

В изученных разрезах по р. Басу и разрезе Асын многочисленные водоросли распространены с верхней части акавасского горизонта, где они образуют водорослевые фации. Таксономическое разнообразие их небольшое. Определены 11 родов из отделов Chlorophyta и Rhodophyta. Наибольшее видовое разнообразие зеленых водорослей отмечено у рода *Donezella* (четыре вида) и красных водорослей — у рода *Ungdarella*. Расширено стратиграфическое распространение водоросли *Asteroaoijgalia gibshmana*, впервые описанной из верхневизейских отложений и найденной в башкирских отложениях разреза Асын. В комплексе водорослей из пограничных отложений башкирского и московского ярусов разреза Басу, кандидата в GSSP московского яруса, преобладают донецеллы.

Авторы благодарны В.Н. Пучкову за консультации при написании статьи и Я.А. Вевель, внимательно притавшей рукопись и сделавшей ценные замечания.

Исследования проведены в соответствии с планами научно-исследовательских работ по гос. заданиям, темы 0393-2016-0023 (ИГ УРО РАН) и 0252-2014-0002 (ИГ УФИЦ РАН), и частично в рамках государственной программы повышения конкурентоспособности Казанского федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров.

Список литературы:

Ахметшина Л.З., Гибшман Н.Б., Куандыков Б.М., Ускова Н.А., Кононец В.И., Баймагамбетов Б.К., Кухтинов Д.А., Дегтярева Л.В. Атлас палеонтологических остатков, микрофаций и обстановок осадконакопления фаменско-каменноугольных отложений Прикаспийской впадины (Казахстанская часть) / АктюбинНИГРИ. — Алматы: СМУС-OFFSET, 2007. — 476 с.

Берченко О.И. Новые виды зеленых водорослей из отложений верхнесерпуховского подъяруса Донбасса // Систематика и эволюция древних растений Украины. — Киев: Наукова думка, 1982. — С. 51–55.

Богуш О.И., Иванова Р.М., Лучинина В.А. Известковые водоросли верхнего фамена и нижнего карбона Урала и Сибири. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1990. — 192 с.

Гибшман Н.Б., Алексеев А.С. Палеобиогеографические связи альгофлоры поздневизейского Подмосковного бас-

сейна // Систематика организмов. Ее значение для биостратиграфии и палеобиогеографии: Матер. LIX сессии Палеонтол. об-ва при РАН (1–5 апр. 2013 г., Санкт-Петербург). — СПб.: ВСЕГЕИ, 2013. — С. 36–37.

Гибшман Н.Б., Алексеев А.С. Морская альгофлора поздневизейского (ранний карбон) Подмосковного бассейна // Палеонтол. журн. — 2017. — № 3. — С. 86–96. — doi.org/10.7868/S0031031X17020088.

Горожанина Е.Н., Кулагина Е.И., Горожанин В.М., Жерновкова Т.В., Иванова Р.М. Литофациальная характеристика пограничных отложений башкирского и московского ярусов среднего карбона разреза Басу (Южный Урал) // Планетарные системы верхнего палеозоя: биостратиграфия, геохронология и углеводородные ресурсы: Международная стратиграфическая конференция Головкинского—2017 и 4-я Всероссийская конференция «Верхний палеозой России». — Казань: Изд-во КФУ, 2017. — С. 73–74.

Иванова Р.М. Башкирский ярус среднего течения р. Юрзань (западный склон Южного Урала) // Ежегодник 1994. — Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1995. — С. 13–15.

Иванова Р.М. Фузулиниды и водоросли среднего карбона Урала (зоальная стратиграфия, палеобиогеография, палеонтология). — Екатеринбург: УрО РАН, 2008. — 205 с.

Иванова Р.М. Известковые водоросли карбона Урала. — Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. — 244 с.

Кулагина Е.И., Пазухин В.Н. Пограничные отложения башкирского и московского ярусов в разрезе «Серять» // Путеводитель геологических экскурсий по карбону Урала. Ч. 1: Южноуральская экскурсия / Под ред. Б.И. Чувашова. — Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. — С. 34–40.

Кулагина Е.И., Клименко Т.В., Кочетова Н.Н. Башкирский ярус в разрезе Курьелга (бассейн р. Басу) на западном склоне Южного Урала // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. — 2016. — № 22. — С. 3–11.

Маслов В.П. Атлас породообразующих организмов (известковых и кремневых). — М.: Наука, 1973. — 270 с.

Синицына З.А. Башкирский ярус по р. Лаклы на западном склоне Южного Урала // Стратиграфия и геология карбона Южного Урала и восточной окраины Русской платформы. — Уфа: БФАН СССР, 1975. — С. 86–94.

Синицына З.А., Синицын И.И. Биостратиграфия башкирского яруса в стратотипе. — Уфа: БФАН СССР, 1987. — 76 с.

Чувашов Б.И., Иванова Р.М., Колчина А.Н. Верхний палеозой восточного склона Урала. Стратиграфия и геологическая история. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. — 230 с.

Brenckle P.L. Late Visean (Mississippian) calcareous microfossils from the Tarim Basin of Western China // Journal Foraminiferal Res. — 2004. — V. 34, No. 2. — P. 144–164. — doi.org/10.2113/0340144.

Gibshman N.B., Kabanov P.B., Alekseev A.S., Goreva N.V., Moshkina M.A. Novogurovsky Quarry. Upper Visean and Serpukhovian // Type and reference Carboniferous sections in the south part of the Moscow Basin / A.S. Alekseev, N.V. Goreva (Eds.): Field trip guidebook of Intern. Field Meeting of the I.U.G.S. Subcommission on Carboniferous Stratigraphy «The

historical type sections, proposed and potential GSSP of the Carboniferous in Russia» (Moscow, August 11–12, 2009). – Moscow: PIN RAN, 2009. – P. 13–45.

Goreva N., Alekseev A. Conodonts and the Position of the Lower Boundary of the Moscovian Stage (Pennsylvanian) // Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources / D. Nurgaliyev (Ed.): Proceedings of Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2017. – Kazan, Russian Federation, 19–23 September 2017. – Filodiritto Publisher, 2018. – P. 12–119.

Groves J.R. Calcareous algae and associated microfossils from Mid-Carboniferous rocks in East-Central Idaho // Journ. Paleont. – 1986. – V. 60 (2). – P. 476–496. – doi.org/10.1017/s0022336000022009.

Groves J.R., Mamei B.L. Masloviporidium, a cosmopolitum Middle Carboniferous red algae // Paleontology. – Heidelberg: Springer-Verlag, 1985. – P. 85–90. – doi.org/10.1007/978-3-642-70355-3_8.

Kulagina E.I., Pazukhin V.N., Davydov V.I. Pennsylvanian biostratigraphy of the Basu River section with emphasis on the Bashkirian-Moscovian transition // Carboniferous Type Sections in Russia and Potential Global Stratotypes. Southern Urals Session / V.N. Puchkov E.I. Kulagina, S.V. Nikolaeva, N.N. Kochetova (eds.): Proceedings of the International Field Meeting Ufa – Sibai, 13–18 August, 2009. – Ufa, 2009. – P. 42–63.

Mamei B., Préat A. Un atlas d’algues calcaires. Carbonifère, Alaska arctique / Carnets de Géologie (Notebooks on Geology). – Brest, Livre / Book / Publication Spéciale, 2010/01 (CG2010_SP01). – 60 p. – doi.org/10.4267/2042/33628.

Proust J.-N., Vennin E., Vachard D., Bousseau Th., Chuvashov B., Ivanova R., Masse P. et Maslo A. Etude semintologique et biostratigraphique du stratotype du Bashkirien (Oural du Sud. Russie) // Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine. – 1996. V. – . 20, No. 2. – P. 341–365.

Vachard D., Maslo A. Precisions biostratigraphiques et micropaleontologiques sur le Bashkirien d’Ukraine (Carbonifère moyen) // Revue de Paléobiologie. – 1996. – V. 15, No. 2. – P. 357–383.

References:

- Akhmetshina L.Z., Gibshman N.B., Kuandykov B.M., Uskova N.A., Kononets V.I., Baymagambetov B.K., Kukhtinov D.A., Degtyareva L.V.* Atlas paleontologicheskikh ostatkov, mikrofatsii i obstanovok osadkonakopleniya famensko-kamennoungol’nykh otlozhenii Prikaspiskoi vpadiny (Kazakhstanskaya chast’) [Atlas of paleontological remains, microfacies and sedimentation environments of Famennian-Carboniferous deposits of the Caspian depression (the Kazakhstan part)] / AktyubNIGRI. Almaty: CMYC-OFFSET, 2007. 476 p. (In Russian).
- Berchenko O.I.* Novye vidy zelenykh vodoroslei iz otlozhenii verkhneserpukhovskogo pod’yarusa Donbassa [New species of the green algae from the deposits of the Upper-Pukhov substage of the Donbass] // Sistematiка i evolyutsiya drevnikh rastenii Ukrayny [Systematics and evolution of ancient plants of Ukraine]. Kiev: Naukova Dumka, 1982. P. 51–55 (In Russian).
- Bogush O.I., Ivanova R.M., Luchinina V.A.* Izvestkovye vodorosli verkhnego famena i nizhnego karbona Urala i Sibiri [Calcareous algae of the Upper Famennian and Lower Carboniferous of the Urals and Siberia]. Novosibirsk: Nauka, Sibirskoe otdelenie, 1990. 192 p. (In Russian).
- Brenckle P.L.* Late Viséan (Mississippian) calcareous microfossils from the Tarim Basin of Western China // J. Foraminiferal Res. 2004. V. 34, No. 2. P. 144–164. doi.org/10.2113/0340144.
- Chuvashov B.I., Ivanova R.M., Kolchina A.N.* Verkhniy paleozoi vostochnogo sklona Urala. Stratigrafiya i geologicheskaya istoriya [Upper Paleozoic of the eastern slope of the Urals. Stratigraphy and geological history]. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR, 1984. 230 p. (In Russian).
- Gibshman N.B., Alekseev A.S.* Paleobiogeograficheskie svyazi al’goflory pozdnnevizeiskogo Podmoskovnogo basseina [Paleobiogeographical connections of the algoflora of the Late Viséan Region of the Moscow Region] // Sistematiка organizmov. Ee znachenie dlya biostratigrafii i paleobiogeografii [Systematics of organisms. Its importance for biostratigraphy and paleobiogeography] Materialy LIX cessii Paleontologicheskogo obshchestva pri RAN [Paleontological Society at the Russian Academy of Sciences] (1–5 April, 2013, Sankt-Peterburg). SPb: VSEGEI, 2013. P. 36–37 (In Russian).
- Gibshman N.B., Alekseev A.S.* The marine algaflora of the Late Viséan (Early Carboniferous) of the Moscow Basin // Paleontol. Zh. 2017. No. 3, P. 313–325 (In Russian). doi.org/10.1134/S0031030117020071.
- Gibshman N.B., Kabanov P.B., Alekseev A.S., Goreva N.V., Moshkina M.A.* Novogurovsky Quarry. Upper Viséan and Serpuhovian // Type and reference Carboniferous sections in the south part of the Moscow Basin / A.S. Alekseev, N.V. Goreva (Eds.): Field trip guidebook of Intern. Field Meeting of the I.U.G.S. Subcommission on Carboniferous Stratigraphy «The historical type sections, proposed and potential GSSP of the Carboniferous in Russia» (Moscow, August 11–12, 2009). Moscow: PIN RAN, 2009. P. 13–45.
- Goreva N., Alekseev A.* Conodonts and the Position of the Lower Boundary of the Moscovian Stage (Pennsylvanian) // Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources / D. Nurgaliyev (Ed.): Proceedings of Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting 2017. Kazan, Russian Federation, 19–23 September 2017. Filodiritto Publisher, 2018. P. 12–119.
- Gorozhanina Ye.N., Kulagina Ye.I., Gorozhanin V.M., Zhernovkova T.V., Ivanova R.M.* Litofatsial’naya kharakteristika pogranichnykh otlozhenii bashkirskogo i moskovskogo yarusov srednego karbona razreza Basu (Yuzhnyi Ural) [Litofacial characteristics of the boundary deposits of the Bashkir and Moscow stages of the Middle Carboniferous Basus (Southern Urals)] (In Russian) // Planetary Systems of the Upper Paleozoic: Biostratigraphy, Geochronology and Hydrocarbon Resources: Golovkinsky International Stratigraphic Conference-2017 and the 4-th All-Russian Conference “Upper Paleozoic of Russia”. Kazan: The Publishing House of Kazan University, 2017. P. 73–74.
- Groves J.R.* Calcareous algae and associated microfossils from Mid-Carboniferous rocks in East-Central Idaho // Journal of Paleontology. 1986. V. 60 (2). P. 476–496. doi.org/10.1017/s0022336000022009.
- Groves J.R., Mamei B.L.* Masloviporidium, a cosmopolitum Middle Carboniferous red algae // Paleontology. Heidelberg: Springer-Verlag. 1985. P. 85–90. doi.org/10.1007/978-3-642-70355-3_8.

Ivanova R.M. Bashkirskii yarus srednego techeniya reki Yuryuzan' (zapadnyi sklon Yuzhnogo Urala) [Bashkirian stage of the middle reaches of the Yuryuzan River (western slope of the Urals)] // Yezhegodnik 1994. Yekaterinburg: IGG UrO RAN, 1995. P. 13–15 (In Russian).

Ivanova R.M. Fuzulinidy i vodorosli srednego karbona Urala (zonal'naya stratigrafiya, paleobiogeografiya, paleontologiya) [Fusulinides and algae of the Middle Carboniferous of the Urals (zonal stratigraphy, paleobiogeography, paleontology)]. Yekaterinburg: UrO RAN, 2008. 205 p. (In Russian).

Ivanova R.M. Izvestkovye vodorosli karbona Urala [Calcareous algae of the Carboniferous of the Urals]. Yekaterinburg: RIO UrO RAN, 2013. 244 p. (In Russian).

Kulagina E.I., Pazukhin V.N. Pogranichnye otlozheniya bashkirskogo i moskovskogo yarusov v razreze "Seryat" [Bashkirian-Moscovian border beds deposits in the "Seryat" section] // Putevoditel' geologicheskikh ekskursii po karbonu Urala. Chast' 1. Yuzhnouralskaya ekskursiya [Guide of the geological excursions of the Carboniferous of the Urals. Part 1.] / B.I. Chuvashov (ed.). Yekaterinburg: IGG UrO RAN, 2002. P. 34–40 (In Russian).

Kulagina Ye.I., Klimenko T.V., Kochetova N.N. Bashkirskii yarus v razreze Kur'elga (bassein reki Basu) na zapadnom skлоне Yuzhnogo Urala [Bashkirian stage of the Kuryelga section (basin of the Basu River) on the western slope of the Southern Urals] // Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodykh resursov AN RB [Geology. Izvestiya of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Bashkortostan Republic]. 2016. № 22. P. 3–11 (In Russian).

Kulagina E.I., Pazukhin V.N., Davydov V.I. Pennsylvanian biostratigraphy of the Basu River section with emphasis on the

Bashkirian-Moscovian transition // Carboniferous Type Sections in Russia and Potential Global Stratotypes. Southern Urals Session / V.N. Puchkov E.I. Kulagina, S.V. Nikolaeva, N.N. Kochetova (eds.): Proceedings of the International Field Meeting Ufa – Sibai, 13–18 August, 2009. Ufa, 2009. P. 42–63.

Mamet B., Préat A. Un atlas d'algues calcaires. Carbonifère, Alaska arctique / Carnets de Géologie (Notebooks on Geology). Brest, Livre / Book / Publication Spéciale, 2010/01 (CG2010_SP01). 60 p. doi.org/10.4267/2042/33628.

Maslov V.P. Atlas porodoobrazuyushchikh organizmov (izvestkovykh i kremnevych) [Atlas of the rock-forming organisms (calcareous and siliceous)]. Moscow: Nauka, 1973. 270 p. (In Russian).

Proust J.-N., Vennin E., Vachard D., Rousseau Th., Chuvashov B., Ivanova R., Masse P., Maslo A. Etude semintologique et biostratigraphique du stratotype du Bashkirien (Oural du Sud. Russie) // Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine. 1996. V. 20, No. 2. P. 341–365.

Sinitsyna Z.A. Bashkirskii yarus po reke Lakly na zapadnom sklonie Yuzhnogo Urala [Bashkirian stage on the Lakly River on the western slope of the Southern Urals] // Stratigrafiya i geologiya karbona Yuzhnogo Urala i vostochnoi okrainy Russkoj platformy [Stratigraphy and geology of the Carboniferous of the Southern Urals and the eastern margin of the Russian Platform]. Ufa: BFAN SSSR, 1975. P. 86–94 (In Russian).

Sinitsyna Z.A., Sinitsyn I.I. Biostratigrafiya bashkirskogo yarusa v stratotipe [Biostratigraphy of the Bashkirian stage in stratotype]. Ufa: BFAN SSSR, 1987. 76 p. (In Russian).

Vachard D., Maslo A. Precisions biostratigraphiques et micropaleontologiques sur le Bashkirien d'Ukraine (Carbonifère moyen) // Revue de Paléobiologie. 1996. V. 15, No. 2. P. 357–383.

Сведения об авторах:

Иванова Римма Михайловна, Институт геологии и геохимии им. А. Заварыцкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УРО РАН), г. Екатеринбург. E-mail: ivanovarm@igg.uran.ru

Кулагина Елена Ивановна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа; Казанский федеральный университет (КФУ), г. Казань. E-mail: kulagina@ufaras.ru

About the authors:

Ivanova Rimma Mikhailovna, Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IGG UB RAS), Ekaterinburg. E-mail: ivanovarm@igg.uran.ru
 Kulagina Elena Ivanovna, Institute of Geology — Separate subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa, Kazan Federal University (KFU). E-mail: kulagina@ufaras.ru

КОМПЛЕКС МОЛЛЮСКОВ ИЗ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА (ТЮРКЯНСКИЙ ГОРИЗОНТ) СКВАЖИНЫ 2 КОСИКА (НИЖНЯЯ ВОЛГА, РОССИЯ)

© 2018 г. Е. М. Осипова, Г. А. Данукалова

Реферат. В статье приведена малакологическая характеристика тюркянского горизонта нижнего неоплейстоцена скважины 2 Косика (Нижнее Поволжье). Возраст моллюсков в скважине установлен по стратиграфическому положению в разрезе под морскими отложениями, охарактеризованными бакинским комплексом моллюсков, и наличию в изученных осадках пресноводных моллюсков, указывающих на формирование фаций в долине реки. Были выделены аллювиальные и озерно-лиманические осадки тюркянского горизонта в интервале глубин 142–112 м, мощностью 30 м. По разрезу прослежено изменение от речных (пойменных) условий к формированию гидроморфной почвы с последующим перекрытием ее осадками осолоняющегося лимана. Литологические и текстурные особенности осадков, а также пресноводный комплекс моллюсков подтверждают их формирование в континентальных условиях (в речных долинах и озерах). Тюркянское время (начало неоплейстоцена) было периодом регрессии Апшеронского моря.

Ключевые слова: Нижняя Волга, нижний неоплейстоцен, тюркянский горизонт, моллюски

MOLLUSC COMPLEX FROM THE LOWER NEOPLEISTOCENE DEPOSITS (TYURKYAN HORIZON) AT THE BOREHOLE 2 KOSIKA (LOWER VOLGA AREA, RUSSIA)

Е. М. Osipova, Г. А. Danukalova

Abstract. The paper presents the malacological data on the Tyurkyan Horizon of the Lower Neopleistocene of the borehole 2 Kosika section (Lower Volga region). The age of the molluscs in the borehole was determined according to their stratigraphic position in the section under the marine sediments characterized by the Baku marine mollusc complex and the presence of freshwater molluscs in the studied sediments indicating the formation of facies in the river valley. Alluvial and lacustrine-limanian sediments of the Tyurkyan horizon were distinguished in the interval of the 142–112 m depths with total thickness of 30 m. The development from the river (floodplain) conditions to the formation of the hydromorphic soil followed by overlying it sediments of a salinating liman was traced. The results of the malacological studies indicate the formation of the sediments in rivers and lakes that were inhabited by freshwater molluscs in the continental conditions of the humid climate. The Tyurkyan time (the beginning of the Neopleistocene) was the period of regression of the Apsheronian Sea.

Keywords: Lower Volga, Lower Neopleistocene, Tyurkyan Horizon, molluscs

Введение

Территория исследований расположена в юго-западной части Прикаспийской низменности, характерной чертой которой являются отрицатель-

ные абсолютные отметки поверхности, изменяющиеся от 0 м до –10 м.

Нами был изучен керн ряда скважин, пробуренных в ходе геологосъемочных работ, проведенных ВСЕГЕИ на территории Нижней Волги

Для цитирования: Осипова Е.М., Данукалова Г.А. Комплекс моллюсков из отложений нижнего неоплейстоцена (тюркянский горизонт) скважины 2 Косика (Нижняя Волга, Россия) // Геологический вестник. 2018. №3. С. 61–69. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-4>.

For citation: Osipova E.M., Danukalova G.A. Mollusc complex from the Lower Neopleistocene deposits (Tyurkyan Horizon) at the borehole 2 Kosika (Lower Volga area, Russia) // Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P.61–69. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-4>.

в 2010–2016 гг. Четвертичные отложения установлены в объеме палеоплейстоцена (гелазского яруса), эоплейстоцена, неоплейстоцена и голоцен. Осадки нижнего неоплейстоцена, к которому отнесены тюркянский и бакинский горизонты, выделены только по керну скважин [Данукалова и др., 2017].

Наибольший интерес имеет тюркянский горизонт, занимающий промежуточное положение между эо- и неоплейстоценом и представляющий собой континентальные осадки, накопившиеся в промежутке между аштеронской и бакинской трансгрессиями.

Во время тюркянской регрессии на побережья Каспийского моря формировались континентальные пресноводные осадки [Хайн, 1950; Федоров, 1957; Али-Заде и др., 1987; Янина, Свиточ,

2009]. Уровень моря понижался до абсолютных отметок –150 м [Лукьянова, Никифоров, 1970], а предбакинская абразионная поверхность расположена на глубине 200–300 м [Мамедов, Алекскеров, 1988; Лебедева, 1978]. Вся водная масса тюркянского бассейна была сосредоточена в южно-каспийской и среднекаспийской котловинах, между которыми существовал мелководный пролив в районе Аштеронского порога. Данные о составе тюркянского комплекса моллюсков крайне скучны, поэтому любая информация об этом временном интервале является значимой.

Скважина 2 Косика (координаты N 47° 06' 36.85", E 47° 10' 40.69") расположена в 1.3 км к СЗ от с. Косика, в 150 м к востоку от автодороги Астрахань – Волгоград, рядом с заброшенным карьером (разрез Косика 3) (рис. 1). Она была пробурена



Рис. 1. Обзорная карта-схема территории исследований с указанием местоположения скважины 2 Косика (Google Earth)

Fig. 1. A General Map showing the borehole 2 Kosika location (Google Earth)

ВСЕГЕИ в 2013 г. как опорная [Застрожнов и др., 2014ф]. Абсолютная отметка устья – 14 м. Глубина скважины 140.0 м.

Результаты исследований тюркянских отложений из скважины 2 Косика приводим в этой публикации. Основной целью малакологических исследований была реконструкция природной среды во время накопления тюркянских отложений.

Материал и методы

Отложения описаны А.С. Застрожновым (ВСЕГЕИ) и Г.А. Данукаловой (ИГ УФИЦ РАН). Из тюркянских отложений скважины было промыто и просмотрено 32 образца, из которых 14 образцов содержали определимые обломки или целые раковины моллюсков (табл. 1).

Таблица 1

Интервалы опробования и находки раковин моллюсков в тюркянских отложениях скважины 2 Косика

Table 1

Sampling intervals and molluscs finds from the Tyurkyan deposits of the borehole 2 Kosika

№ п/п	Регистрац. номер	Глубина, м	Слой	Находки раковин моллюсков
1	2	3	4	5
1	4061	113	lm(am?)Qtr Слой 5. Глина темно-серая	детрит
2	4062	114	То же	Cardiidae (обл. ств.)
3	4063	115	То же	детрит
4	4064	116	То же	детрит
5	4065	117	То же	Lymnaeidae (1 juv.), Gastropoda (обл.)
6	4066	118	То же	Моллюсков нет
7	4067	119.2	То же	детрит
8	4068	119.8	То же	Моллюсков нет
9	4069	120.5	edQtr Слой 4. Глина темно-серая	Моллюсков нет
10	4070	121.5	edQtr Слой 3. Глины коричневато-серые	Моллюсков нет
11	4071	122.3	То же	Моллюсков нет
12	4072	123.6	То же	Моллюсков нет
13	4073	124.6	То же	Моллюсков нет
14	4074	126	То же	Моллюсков нет
15	4076	127	a(pt),lQtr Слой 2. Глина коричневато-серая	Моллюсков нет
16	4077	128.7	То же	детрит
17	4078	129.7	То же	Моллюсков нет
18	4079	130.5	То же	Cardiidae (обл. ств.)
19	4080	131.5	То же	Моллюсков нет
20	4081	132.6	То же	Моллюсков нет
21	4083	133.7	То же	Моллюсков нет
22	4084	134.6	a(pt),lQtr Слой 1. Глина коричневато-серая	Valvata cf. <i>piscinalis</i> (Müller, 1774) (1 juv.), Gastropoda (обл.), <i>Unio</i> sp. (обл. перламутрового слоя)
23	4085	135.7	То же	Gastropoda (обл.), <i>Pisidium amnicum</i> (Müller, 1774) (1 целая раковина, 1 левая ств.), детрит
24	4086	136	То же	Gastropoda (обл.), <i>Pisidium</i> sp. (обл.), <i>Valvata</i> sp. (1 juv.),
25	4087	136.5	То же	<i>Viviparus</i> sp. (5 обл.+2 juv.), <i>Valvata</i> cf. <i>piscinalis</i> (Müller, 1774) (7 juv.), Gastropoda (обл.), <i>Pisidium</i> cf. <i>supinum</i> (A. Schmidt, 1850) (1 целая раковина, 6 правых и 10 левых ств., 1 обл.)

1	2	3	4	5
26	4088	137	То же	<i>Viviparus</i> sp. (4 обл.+3 juv.), <i>Valvata</i> cf. <i>piscinalis</i> (2 juv.), <i>Pisidium</i> cf. <i>supinum</i> (7 правых и 8 левых ств.), <i>Unio</i> sp. (обл. перламутрового слоя)
27	4089	137.5	То же	<i>Pisidium</i> cf. <i>supinum</i> (1 левая ств.), Mollusca (обломки раковин)
28	4090	138.6	То же	<i>Valvata</i> <i>piscinalis</i> (Müller, 1774) (55), <i>V. antiqua</i> (Sowerby, 1832) (7), <i>Viviparus</i> sp. (cf. <i>diluvianus</i> (Kunth, 1865)) (10 обл.+18 juv.), <i>Unio</i> sp. (обл. перламутрового слоя), детрит
29	4091	139.6	То же	<i>Valvata</i> cf. <i>piscinalis</i> (Müller, 1774) (1 juv.), <i>Viviparus</i> sp. (1 juv.), <i>Unio</i> sp. (обл. перламутрового слоя), <i>Pisidium</i> cf. <i>supinum</i> (A. Schmidt, 1850) (2 правые и 2 левые ств.)
30	4092	139.8	То же	<i>Viviparus</i> sp. (фрагменты раковин+4 juv.); <i>Valvata</i> sp. (cf. <i>Valvata</i> <i>piscinalis</i> (Müller, 1774)) (3 фрагменты раковин), Unionidae (отпечатки ств. плохой сохранности)
31	4093	140	То же	<i>Viviparus</i> <i>diluvianus</i> (Kunth, 1865) (10); <i>Valvata</i> cf. <i>piscinalis</i> (Müller, 1774) (3), <i>Bithynia</i> sp. (1 обл.); <i>Unio</i> sp. (3 обл.); <i>Sphaerium</i> <i>rivicola</i> (Lamarck, 1818) (8); детрит
32	4094	140.3	То же	детрит

Примечания: обл. — обломки; ств. — створка; juv. — ювенильный.

Notes: обл. — detritus; ств. — sink shell; juv. — juvenile.

При описании видов приведены замеры раковин моллюсков, при этом использованы следующие сокращения для гастропод: ВР — высота раковины; ШР — ширина раковины; ШР/ВР — отношение ширины к высоте раковины; ВПО/ВР — отношение высоты последнего оборота к высоте раковины; ШУ/ВУ — отношение ширины устья к его высоте; ВУ/ВР — отношение высоты устья к высоте раковины; и для двустворок: Д — длина раковины; В — высота раковины; Вып — выпуклость раковины; В/Д — отношение высоты раковины к ее длине; Вып/Д — отношение выпуклости раковины к ее длине.

Фотографирование раковин моллюсков выполнено на стереомикроскопе Motic SMZ-171 TLED с цифровой камерой Moticam 10+.

Видовые определения сделаны согласно определителям пресноводных моллюсков [Жадин, 1952; Nederlandse..., 1998]. Коллекция раковин моллюсков хранится в Институте геологии Уфимского Федерального исследовательского центра РАН (г. Уфа).

Описание тюркянских отложений скважины 2 Косика

К тюркянскому горизонту (интервал 142–112 м, слои 1–5) отнесены снизу вверх: слои 1 и 2, представленные аллювиальными (пойменная фауна) коричневато-серыми алевритистыми глинами

с раковинами пресноводных моллюсков (вскрытая мощность 17 м); слой 3, представленный элювиально-делювиальными субаэральными коричневато-серыми глинами (мощность 5 м); слой 4, сложенный элювиально-делювиальными субаэральными (гидроморфная почва?) темно-серыми глинами с комковатой текстурой (мощность 1 м), а также слой 5 с лиманными (аллювиально-морскими) темно-серыми алевритистыми глинами (мощность 8 м). Слой 5 отнесен у тюркянскому горизонту условно. Общая мощность изученных отложений составила 30 м.

По разрезу прослежено изменение от речных (пойменных) условий к формированию гидроморфной почвы с последующим перекрытием ее осадками осолоняющегося лимана.

Результаты малакологических исследований тюркянских отложений скважины 2 Косика

В результате исследования тюркянских отложений разреза скважины 2 Косика было выделено 149 определимых раковин моллюсков, представленных пресноводными видами. Изученные моллюски относятся к двум классам Gastropoda и Bivalvia, 6 семействам (Lymnaeidae, Valvatidae, Bithyniidae, Viviparidae, Sphaeriidae, Unionidae). В отложениях присутствуют редкие фрагменты вероятно переотложенных раковин Cardiidae.

Малакокомплекс установлен в отложениях нижней части разреза (скв. 2 Косика, слой 1, гл. 140.3–134.6 м) и представлен 148 раковинами 7 пресноводных видов из 6 родов (табл. 2, рис. 2), в т.ч. *Valvata piscinalis* (Müller, 1774), *Viviparus diluvianus* (Kunth, 1865), *Pisidium cf. supinum* (A. Schmidt, 1850), *P. cf. amnicum* (Müller, 1774), *Sphaerium rivicola* (Lamarck, 1818), *Unio* sp., указывающих на формирование осадков в долине реки. На глубине 117 м найдена ювенильная раковинка лимнайды, свидетельствующая об опресненных условиях обитания (слабопроточного водоема).

Ниже приводится характеристика встречающихся видов, при описании которых даны замеры раковин моллюсков. Расшифровка сокращений замеров дана в разделе «Материал и методы».

Valvata piscinalis (Müller, 1774) (рис. 2, фиг. 1). В коллекции присутствуют только ювенильные экземпляры. Раковина овально-коническая, с тупым приплюснутым завитком (ВР 1.7–2.8 мм; средн. 2.2; ШР 2.4–3.0 мм; средн. 2.6), средней высоты (ШР/ВР 0.8–1.4; средн. 1.1), состоит из 4 округлых оборотов, быстро нарастающих, гладких, тонко исчерченных спиральными линиями,

разделенных неглубоким швом. Протоконх состоит из полутора оборотов, гладкий. Последний оборот преобладает над остальными, и вдвое шире предпоследнего (ВПО/ВР 0.5). Устье округлое, вверху образует угол, большое (ШУ/ВУ 0.7–1.1; средн. 1.0), составляет примерно $\frac{1}{2}$ от общей высоты раковины (ВУ/ВР 0.6). Внешний край устья тонкий. Пупок открытый, округлый. Материал: 71 ювенильный экземпляр из слоя 1.

V. antiqua (Sowerby, 1832) (рис. 2, фиг. 2, 8). Раковина овально-коническая, завиток немного удлиненный и заостренный (ВР 3.1–5.0 мм; средн. 4.3; ШР 3.2–4.5 мм; средн. 4.0), средней высоты (ШР/ВР 0.8–1.0; средн. 0.9), состоит из 4–4.5 округлых медленно нарастающих оборотов, разделенных глубоким слабо склоненным швом. Поверхность раковины покрыта тонкой неравномерной радиальной штриховкой. Протоконх состоит из полутора оборотов, гладкий. Обороты завитка слегка вздутые, нарастают медленно. Последний оборот преобладает над остальными, сильно вздут и вдвое шире предпоследнего (ВПО/ВР 1.1). Устье округлое, вверху образует угол, большое (ШУ/ВУ 0.8–1.2; сред. 1.0), составляет примерно $\frac{1}{2}$ от общей

Сводный состав видов моллюсков из тюркянских отложений скважины 2 Косика

Summary of the molluscs species association from the Tyurkyan deposits of the borehole 2 Kosika

Table 2

№	Стратиграфический индекс Слой Таксоны	Глубина, м	a(pt)Qtr	lm,amQtr?
			1	5
			140,3–134,6	117
1	Lymnaeidae			1 juv
2	<i>Valvata</i> sp.		1 juv	
3	<i>Valvata piscinalis</i> (Müller, 1774)		71 juv	
4	<i>V. antiqua</i> (Sowerby, 1832)		7	
5	<i>Viviparus diluvianus</i> (Kunth, 1865), <i>Viviparus</i> sp.		37 + 19 обл.	
6	<i>Bithynia</i> sp.		1 обл.	
7	Gastropoda		обл.	обл.
8	<i>Pisidium cf. amnicum</i> (Müller, 1774)		2 + обл.	
9	<i>Pisidium cf. supinum</i> (A. Schmidt, 1850)		22 + обл.	
10	<i>Sphaerium rivicola</i> (Lamarck, 1818)		8	
11	Unionidae		обл.	
12	Cardiidae			+
13	Detritus		+	+

Примечание: обл. — обломки; juv — ювенильный; + — мелкий детрит, не подсчитан.

Notes: обл. — detritus; juv — juvenile; + — small detritus, not calculated.

высоты раковины ($\text{ВУ}/\text{ВР}$ 0.5). Внешний край устья тонкий. Пупок открытый, щелевидный. Материал: 7 экземпляров из слоя 1.

Viviparus diluvianus (Kunth, 1865) (рис. 2, фиг. 7, 10, 11). Раковина овально-коническая, толстостенная, с высоким завитком (ВР 15.0–33.0 мм; средн. 23.0; ШР 13.0–20.0 мм; средн. 16.3), умеренно-высокая ($\text{ШР}/\text{ВР}$ 0.6–0.9; средн. 0.76), состоит из

5–5.5 выпуклых оборотов, разделенных умеренно глубоким швом. Протоконх гладкий. Последний оборот округлый, немного перегибается ко шву, составляет $\frac{3}{4}$ и более от высоты раковины ($\text{ВПО}/\text{ВР}$ 0.3–0.5; средн. 0.4). Устье овально-удлиненной формы, сверху заостренное ($\text{ШУ}/\text{ВУ}$ 0.6–1.4; средн. 0.9), составляет примерно $\frac{2}{3}$ от общей высоты раковины ($\text{ВУ}/\text{ВР}$ 0.5–0.6; средн. 0.55). Края устья

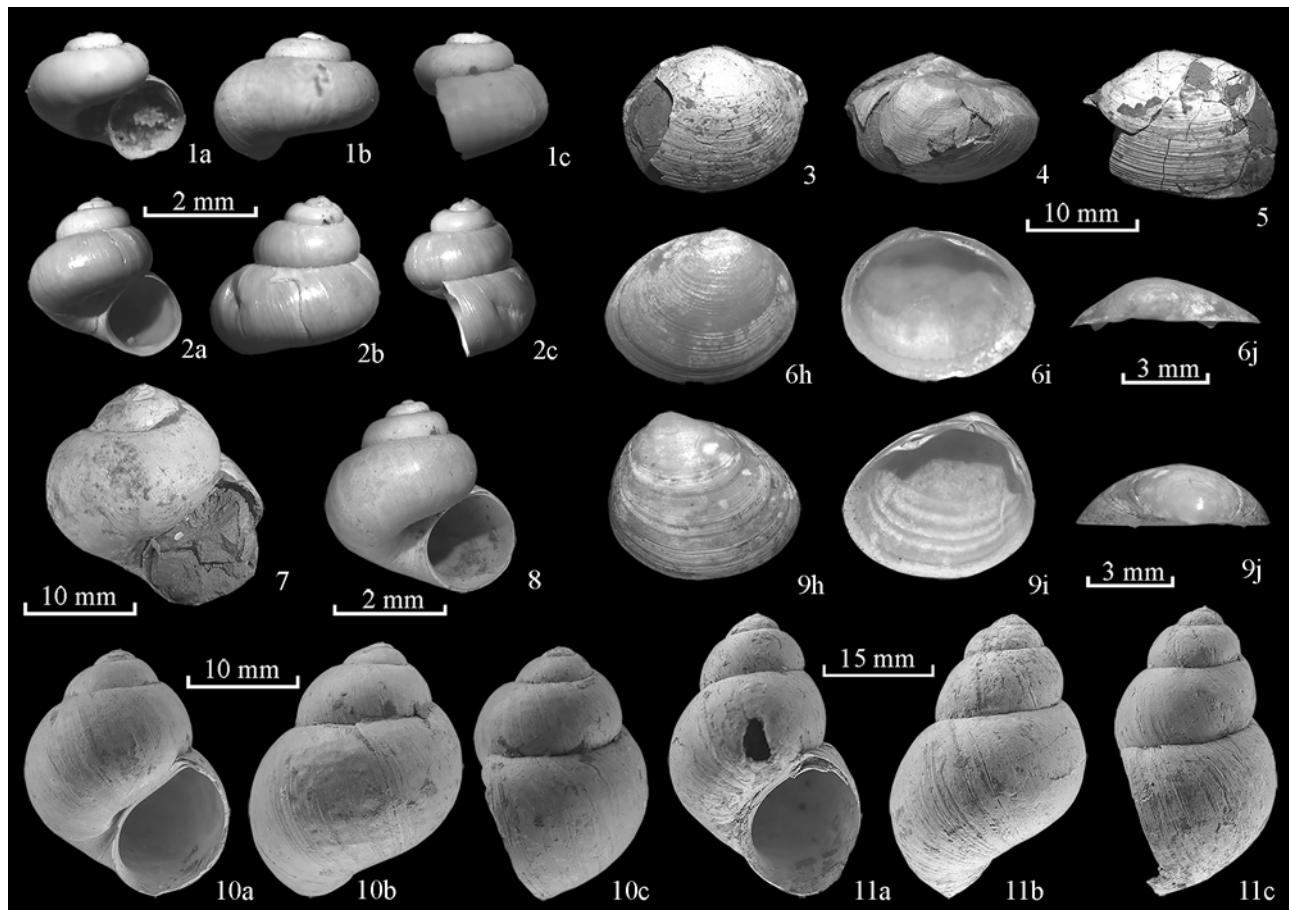


Рис. 2. Пресноводные моллюски тюркянского горизонта скважины 2 Косика

Условные обозначения: 1 — *Valvata piscinalis* (Müller), IG № 243/4091/25, гл. 139.6 м; 2 — *Valvata antiqua* (Sowerby), IG № 243/4091/23, гл. 139.6 м; 3 — *Sphaerium rivicola* (Lamark), правая створка, IG № 243/4093/29, гл. 140.0 м; 4 — *Sphaerium rivicola* (Lamark), правая створка, IG № 243/4093/28, гл. 140.0 м; 5 — *Sphaerium rivicola* (Lamark), левая створка, IG № 243/4093/30, гл. 140.0 м; 6 — *Pisidium amnicum* (Müller), левая створка, IG № 243/4085/26, гл. 135.7 м; 7 — *Viviparus diluvianus* (Kunth), IG № 243/4093/19, гл. 140.0 м; 8 — *Valvata antiqua* (Sowerby), IG № 243/4093/18, гл. 140.0 м; 9 — *Pisidium supinum* (A. Schmidt), правая створка, IG № 243/4093/17, гл. 137.5 м; 10 — *Viviparus diluvianus* (Kunth), IG № 243/4093/20, гл. 140.0 м; 11 — *Viviparus diluvianus* (Kunth), IG № 243/4093/21, гл. 140.0 м; а — вид со стороны устья; б — вид со стороны, противоположной устью; в — вид сбоку; г — вид снаружи створки; и — вид изнутри створки; ж — вид со стороны макушки.

Fig. 2. Freshwater molluscs of the Tyurkyan Horizon from the borehole 2 Kosika

Legend: 1 — *Valvata piscinalis* (Müller), IG No. 243/4091/25, depth is 139.6 m; 2 — *Valvata antiqua* (Sowerby), IG No. 243/4091/23, depth is 139.6 m; 3 — *Sphaerium rivicola* (Lamark), right valve, IG No. 243/4093/29, depth is 140.0 m; 4 — *Sphaerium rivicola* (Lamark), right valve, IG No. 243/4093/28, depth is 140.0 m; 5 — *Sphaerium rivicola* (Lamark), left valve, IG No. 243/4093/30, depth is 140.0 m; 6 — *Pisidium amnicum* (Müller), left valve, IG No. 243/4085/26, depth is 135.7 m; 7 — *Viviparus diluvianus* (Kunth), IG No. 243/4093/19, depth is 140.0 m; 8 — *Valvata antiqua* (Sowerby), IG No. 243/4093/18, depth is 140.0 m; 9 — *Pisidium supinum* (A. Schmidt), right valve, IG No. 243/4093/17, depth is 137.5 m; 10 — *Viviparus diluvianus* (Kunth), IG No. 243/4093/20, depth is 140.0 m; 11 — *Viviparus diluvianus* (Kunth), IG No. 243/4093/21, depth is 140.0 m; а — apertural view; б — abapertural view (view from the opposite side of the aperture); в — lateral view (top right); г — external view; и — internal view; ж — top view.

тонкие, не утолщены. Пупок щелевидный, прикрытый внутренним краем устья. Поверхность раковины покрыта тонкой штриховкой. Крышечки от раковин не найдены. Материал: 37 экземпляров из слоя 1.

Pisidium amnicum (Müller, 1774) (рис. 2, фиг. 6). Раковина удлиненно-округлой формы ($\text{Д} 4.6 \text{ мм}$, $\text{В} 3.6 \text{ мм}$, $\text{Вып} 1.4 \text{ мм}$; $\text{В}/\text{Д} 0.7$; $\text{Вып}/\text{Д} 0.3$), поперечно вытянутая, выпуклая. На поверхности створки наблюдаются концентрические линии. Макушка широкая, мало выступающая и расположена ближе к заднему краю створки. Передняя часть створки длинная, спереди закругленная; задняя часть короткая и широкая. Замочная площадка широкая, вогнутая. В правой створке посередине площадки один мощный кардинальный зуб, изогнутый, с расширенными концами. В левой створке два кардинальных зуба — передний широкий, плоский, сверху округленный, задний косо поставлен, к верхнему концу слегка сужен. Передние латеральные зубы обеих створок мощно развиты, парные. Материал: 2 экземпляра из слоя 1.

Pisidium supinum (A. Schmidt, 1850) (рис. 2, фиг. 9). Раковина округло-треугольной формы ($\text{В} 4.7\text{--}6.0 \text{ мм}$, средн. 5.3; $\text{Д} 5.5\text{--}7.0 \text{ мм}$, средн. 6.2; $\text{Вып} 1.5\text{--}2.5 \text{ мм}$ средн. 2.0; $\text{В}/\text{Д} 0.85$; $\text{Вып}/\text{Д} 0.3\text{--}0.4$, средн. 0.35), выпуклая, покрыта резко выраженным тонкими и равномерными концентрическими линиями. Макушка выдающаяся, расположена близко к заднему концу раковины. Замочный край створки изогнут и образует заметные углы смыкания с передним и задними краями, а нижний — правильно округленный. Задняя часть створки короткая и округлая. Передняя часть створок длиннее задней, впереди немного сужена. В правой створке один изогнутый кардинальный зуб с широким концом и парные латеральные зубы. В левой створке два кардинальных зуба. Из них передний сильно изогнут, задний почти прямой и слегка косо перекрывает передний, латеральные зубы одиночные. В обеих створках передние боковые зубы сильно развиты. Материал: 22 экземпляра из слоя 1.

Sphaerium rivicola (Lamarck, 1818) (рис. 2, фиг. 3, 4, 5). Раковина удлиненно-округлой формы ($\text{В} 10.0\text{--}12.0 \text{ мм}$, средн. 11.0; $\text{Д} 12.0\text{--}15.0 \text{ мм}$, средн. 14.0; $\text{Вып} 3.0\text{--}6.0 \text{ мм}$, средн. 4.6; $\text{В}/\text{Д} 0.6\text{--}0.9$, средн. 0.76; $\text{Вып}/\text{Д} 0.4\text{--}0.25$, средн. 0.3), умеренно выпуклая, почти равносторонняя, покрыта тонкими концентрическими линиями, задний край шире и немного длиннее переднего. Макушка почти на середине створки, широкая, выпуклая, но не вздутая, мало выступающая над задним краем. Замоч-

ный край узкий. В левой створке два кардинальных зуба, задний короткий, тонкий, передний — грубый, высокий, в основании треугольный. Между обоими зубами широкая треугольная ямка. Латеральные зубы одиночные. В правой створке два кардинальных зуба, задний из них треугольный, с глубокой бороздкой наверху, передний тонкий, слабо изогнутый. Латеральные зубы парные, верхние тоньше, ниже и короче нижних зубов. Ямка между ними короткая, узкая и углубленная. Материал: 8 экземпляров из слоя 1.

Дискуссия

Как отмечал П.В. Федоров [1978], тюркянская континентальная свита (до 90 м) была установлена в Каспийской области по материалам бурения в восточной части Апшеронского полуострова у с. Тюркяны [Дашевская, 1940], где залегает с размывом на апшеронских морских и постепенно переходит в бакинские морские отложения. Свита позднее была выделена в качестве горизонта [Хайн, 1950]. В северо-западной части Куринской низменности тюркянские отложения (галечники, пески дельтовых и аллювиальных фаций мощностью до 25 м) выходят на поверхность на крыльях антиклинальных структур (Караджа, Евлаха) [Федоров, 1978]. Отложения горизонта известны и на других территориях Каспийской области — Дагестан, Северная Прикаспийская низменность, где они изучены по материалам бурения. По данным Г.И. Горецкого [1966], в Поволжье бакинские отложения залегают на апшеронских без следов перерыва, а в восточной части Северного Прикаспия (Урал, Эмба), на Мангышлаке и в Западной Туркмении между ними появляются континентальные образования, представленные аллювиальными песками и склоновыми (или балочными) суглинками (до 20 м). Информация о палеонтологических остатках в этих отложениях не приведена.

По данным геологоразведочных работ предшественников, тюркянские континентальные отложения на территории Нижней Волги установлены в ряде скважин, например, в скважине 123 в интервале 111.5—74 м [Смагин и др., 1977ф] они содержат неопределенные обломки пресноводных моллюсков, кости мелких млекопитающих, в скважине 3Э в интервале 133—110 м [Данукалова и др., 2018] присутствуют пресноводные моллюски *Pyrgula* sp. (1 juv. обл.) (гл. 125.4 м), *Didacna* sp. (1 juv.) (гл. 114.7 м), *Pisidium* sp. (обломки), *Gyraulus* sp. (3 juv.), мелкий детрит (гл. 128.7 м).

Возраст изученного малакологического комплекса в скважине 2 Косика установлен по стратиграфическому положению в разрезе под морскими отложениями, охарактеризованными бакинским комплексом морских моллюсков, и наличию в изученных осадках пресноводных моллюсков, указывающих на формирование фаций в долине реки.

Заключение

В результате исследований были выделены аллювиальные и озерно-лиманные осадки тюркянского горизонта в интервале глубин 142–112 м, мощностью 30 м. По разрезу прослежено изменение от речных (пойменных) условий к формированию гидроморфной почвы с последующим перекрытием ее осадками осолоняющегося лимана.

Малакокомплекс установлен в отложениях нижней части разреза (скв. 2 Косика, сл. 1, гл. 140.3–134.6 м) и представлен 148 раковинами 7 пресноводных видов из 6 родов, которые относятся к двум классам Gastropoda и Bivalvia, 6 семействам (Lymnaeidae, Valvatidae, Bithyniidae, Viviparidae, Sphaeriidae, Unionidae). На глубине 117 м найдена ювенильная раковинка лимнейиды, также свидетельствующая об опресненных условиях обитания (слабопроточный водоем).

Литологические и текстурные особенности осадков, а также пресноводный комплекс моллюсков подтверждают их формирование в континентальных условиях (в речных долинах и озерах).

Таким образом, изучение разреза скважины 2 Косика позволило дополнить малакологическую характеристику тюркянских отложений плейстоцена Нижней Волги.

Авторы благодарны А.С. Застрожнову (ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург) за предоставленную возможность изучения керна скважины и организацию полевых работ.

Работа выполнена в рамках Гос. бюджетных тем № 0252-2014-0006, № 0252-2016-0006.

The authors are grateful to A.S. Zastroyzhnov (VSEGEI, St. Petersburg) for the opportunity to study the core of the borehole and for the organization of the field work.

The paper was carried out within the framework of the State programs No. 0252-2014-0006, No. 0252-2016-0006.

Список литературы:

Али-Заде А.А., Пашалы Н.В., Мамедов А.В., Федоров П.Ф., Сараджалинская Т.М., Ибаров Т.Р. Азербайджан // Граница между неогеновой и четвертичной системами в СССР. – М.: Наука, 1987. – С. 89–95.

Горецкий Г.И. Формирование долины р. Волги в раннем и среднем антропогене. Аллювий Пра-Волги. – М.: Наука, 1966. – 412 с.

Данукалова Г.А., Застрожнов А.С., Яковлев А.Г., Курманов Р.Г., Осипова Е.М., Штерхун В.Л. Стратиграфия квартера Астраханского свода (листы L-38-XI, XII) // Геологический сборник № 14 / ИГ УНЦ РАН. – СПб: Свое издательство, 2017. – С. 40–64.

Данукалова Г.А., Курманов Р.Г., Осипова Е.М., Застрожнов А.С., Зиновьев Е.В. Палеонтологическая характеристика плейстоценовых отложений скважины 3Э (Нижнее Поволжье) // Геологический вестник. – 2018. – № 2. – С. 96–109.

Дашевская О.В. О бакинском ярусе восточной части Апшеронского полуострова // Докл. АН СССР. – 1940. – Т. 26, Вып. 3. – С. 242–244.

Жадин В.И. Моллюски пресных вод СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. – 376 с. – (Определители по фауне СССР. Труды ЗИН АН СССР; Т. 46).

Лебедева Н.А. Корреляция антропогеновых толщ Понто-Каспия. – М.: Наука, 1978. – 136 с.

Лукьянова С.А., Никифоров Л.Г. К вопросу о раннечетвертичной истории Каспийского бассейна // Комплексные исследования Каспийского моря. – Вып. 1. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – С. 41–48.

Мамедов А.В., Алекскеров Б.Д. Палеогеография Азербайджана в раннем и среднем плейстоцене. – Баку: ЭЛМ, 1988. – 158 с.

Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений и история развития Каспийского моря. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 308 с. – (Труды Геологич. ин-та АН СССР; Вып. 10).

Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. – М.: Наука, 1978. – 165 с. – (Труды ГИН АН СССР; Т. 310).

Хайн В.Е. Геотектоническое развитие Юго-Восточного Кавказа. – Баку: Азнефтииздат, 1950. – 223 с.

Янина Т.А., Святченко А.А. Развитие природной среды Каспийского региона в раннем неоплейстоцене // Древнейшие миграции человека в Евразии. – Новосибирск: Ин-т археологии и этнографии СО РАН, 2009. – С. 215–223.

Nederlandse Fauna 2. De Nederlandse Zoetwatermollusken. Recente en fossiele weekdieren uit zoet en brak water / Redactie E. Gittenberger, A.W. Janssen. – Nationaal Natuurhistorisch museum Naturalis KNNV uitgeverij – European Invertebrate survey – Nederland, 1998. – 288 p.

References:

Ali-Zade A.A., Pashaly N.V., Mamedov A.V., Fedorov P.F., Saradzhalinskaya T.M., Ibarov T.R. Azerbaydzhan [Azerbaijan] // Granitsa mezhdu neogenovoi i chetvertichnoi sistemami v SSSR [Boundary between Neogene and Quaternary systems in the USSR]. Moscow: Nauka Press, 1987. P. 89–95 (in Russian).

Danukalova G.A., Zastroyzhnov A.S., Yakovlev A.G., Kurmanov R.G., Osipova Ye.M., Shterkhun V.L. Stratigrafiya kvartera Astrakhanskogo svoda (listy L-38-XI, XII) [Stratigraphy of the Quaternary of the Astrakhan arch (sheets L-38-XI, XII)] // Geologicheskii sbornik No. 14 / IG UNTs RAN [Geological

Collection No. 14 / IG USC RAN]. Saint Petersburg: Svoe izdatel'stvo Press, 2017. P. 40–64 (in Russian).

Danukalova G.A., Kurmanov R.G., Osipova Ye.M., Zastroynov A.S., Zinov'yev Ye.V. Paleontologicheskaya kharakteristika pleystosenovykh otlozheniy skvazhiny 3E (Nizhneye Povolzh'ye) [Paleontological characteristics of Pleistocene deposits of the 3E borehole (Lower Volga)] // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 96–109 (in Russian).

Dashevskaya O.V. O bakinskoye yaruse vostochnoi chasty Apsheronskogo poluostrova [About Baku stage of the eastern part of the Apsheron peninsula] // Doklady Akademii nauk, 1940. V. 26 (3). P. 242–244 (in Russian).

Fedorov P.V. Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenii i istoriya razvitiya Kaspiiskogo morya [Stratigraphy of the Quaternary sediments and the history of the Caspian Sea development]. Moscow: USSR Academy of Sciences Press, 1957. 308 p. (Trudy Geologicheskogo instituta AN SSSR. Vyp. 10 [Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences, Iss. 10]) (in Russian).

Fedorov P.V. Pleistocen Ponto-Kaspiya [Pleistocene of the Ponto-Caspian region]. Moscow: Nauka Press, 1978. 165 p. (Trudy Geologicheskogo instituta AN SSSR. Vyp. 310 [Proceedings of the Geological Institute of the USSR Academy of Sciences, Iss. 310]) (in Russian).

Goretskyi G.I. Formirovanie doliny r. Volgi v rannem i srednem antropogene. Alluvyi Pra-Volgi [Formation of the Volga River valley during Early and Middle Anthropocene. Pra-Volga alluvium]. – Moscow: Nauka Press, 1966. – 412 p.

Khain V.Ye. Geotektonicheskoe razvitiye Yugo-Vostochnogo Kavkaza [Geotectonic development of the South-Eastern Caucasus]. Baku: Aznefteizdat Press, 1950. 223 p. (in Russian).

Lebedeva N.A. Korrelyatsiya antropogenovykh tolshch Ponto-Kaspiya [Correlation of the anthropogenic sequences of the Ponto-Caspian Sea]. Moscow: Nauka Press, 1978. 136 p. (in Russian).

Lukyanova S.A., Nikiforov L.G. K voprosu o rannechetvertichnoi istorii Kaspiiskogo basseina [On the question of the early Quaternary history of the Caspian basin] // Kompleksnye issledovaniya Kaspiiskogo moray [Integrated Caspian Sea research]. Iss. 1. Moscow: Moscow University Press, 1970. P. 41–48 (in Russian).

Mamedov A.V., Aleskerov B.D. Paleogeografiya Azerbaidzhana v rannem i srednem pleistotsene [Palaeogeography of Azerbaijan in the Early and Middle Pleistocene]. Baku: ELM Press, 1988. 158 p. (in Russian).

Nederlandse Fauna 2. De Nederlandse Zoetwatermollusken. Recente en fossiele weekdieren uit zoet en brak water / Redactie E. Gittenberger & A.W. Janssen. Nationaal Natuurhistorisch museum Naturalis KNNV uitgeverij – European Invertebrate survey – Nederland, 1998. 288 p.

Yanina T.A., Svitoch A.A. Razvitiye prirodnoi sredy Kaspiiskogo regiona v rannem neopleistotsene [Development of the natural environment of the Caspian region in the early Neopleistocene] // Drevneishie migratsii cheloveka v Evrazii [The oldest human migrations]. Novosibirsk: Institute of archaeology and ethnography of the Siberian branch of the Russian Academy of sciences Press, 2009. P. 215–223 (in Russian).

Zhadin V.I. Molluski presnykh vod SSSR [Molluscs of the freshwaters of the USSR]. Moscow – Leningrad: USSR Academy of Sciences Press, 1952. 376 p. (Opredeliteli po faune SSSR, izdavemye Zoologicheskim institutom AN SSSR. T. 46. [Determinants on Fauna of the USSR, published by Zoological Institute, Academy of Sciences of the USSR. V. 46]) (in Russian).

Сведения об авторах:

Осипова Евгения Михайловна, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: myrte@mail.ru

Данукалова Гузель Анваровна, канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: danukalova@ufaras.ru

About the authors:

Osipova Evgeniya, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: myrte@mail.ru

Danukalova Guzel, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: danukalova@ufaras.ru

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МОЛЛЮСКАХ САРТАНСКОГО ГОРИЗОНТА ВЕРХНЕГО НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА РАЗРЕЗА БОХАН (ПРИБАЙКАЛЬЕ, РОССИЯ)

© 2018 г. Е. М. Осипова, Г. А. Данукалова, Ф. И. Хензыхенова

Реферат. В статье приведена малакологическая характеристика сартанского горизонта верхнего неоплейстоцена разреза Бокан (Прибайкалье). Возраст моллюсков установлен по стратиграфическому положению в разрезе под голоценовой почвой и радиоуглеродным датам. Делювиальные осадки сартанского горизонта мощностью 2.5 м описаны в интервале глубин 0.5–3 м. Сартанское время было холодным периодом.

Ключевые слова: Прибайкалье, верхний неоплейстоцен, сартанский горизонт, моллюски

NEW DATA ON THE MOLLUSCS OF THE SARTAN HORIZON (THE UPPER NEOPLEISTOCENE) FROM THE BOKHAN SECTION (FORE-BAIKAL AREA, RUSSIA)

E. M. Osipova, G. A. Danukalova, F. I. Khenzykhenova

Abstract. The article presents the malacological characteristics of the Sartan horizon of the Upper Neopleistocene of the Bokhan section (Fore-Baikal area). The age of the molluscs is determined by the stratigraphic position in the section under Holocene soil and radiocarbon dates. The deluvial deposits of the Sartan horizon with a thickness of 2.5 m are described in the depth interval 0.5–3 m. Sartan time was a period of cold environment.

Keywords: Fore-Baikal area, Upper Neopleistocene, Sartanian Horizon, molluscs

Введение

Разрез Бокан ($N 53^{\circ} 10' 7.08''$, $E 103^{\circ} 48' 23.88''$, абсолютная отметка 490 м над уровнем моря) находится на р. Ида (правый приток р. Ангары) в окрестностях одноименного поселка в Боканском районе Иркутской области, в 105.4 км к северо-северо-западу от города Иркутска и на расстоянии 166.4 км от озера Байкал (рис. 1). Разрез расположен на территории прибайкальского (южного) сектора Средне-Сибирского плато в пределах Иркутско-Черемховской холмистой равнины. Территорию исследований слагают бордовые и красновато-коричневые доломиты и известняки ангарской

свиты нижнего кембрия, по которым формировалась мел-неогеновая кора выветривания. Четвертичные отложения образуются главным образом в долинах рек или на склонах холмов. Современная речная сеть прорезает равнину и образует ряды речных террас и широких вытянутых междуречий, в верхней части которых преобладают реликты мел-палеогеновой поверхности выветривания.

Разрез Бокан был впервые открыт и опробован в рамках российско-японского сотрудничества в 2012–2017 гг.

Цель нашего исследования состояла в изучении раковин моллюсков для того, чтобы дополнить реконструкцию обстановок осадконакопления

Для цитирования: Осипова Е.М., Данукалова Г.А., Хензыхенова Ф.И. Новые данные о моллюсках сартанского горизонта верхнего неоплейстоцена разреза Бокан (Прибайкалье, Россия) // Геологический вестник. 2018. №3. С. 70–78. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-5>.

For citation: Osipova E.M., Danukalova G.A., Khenzykhenova F.I. New data on the molluscs of the Sartan Horizon (the Upper Neopleistocene) from the Bokhan section (Fore-Baikal area, Russia) // Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P. 70–78. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-5>.



Рис. 1. Обзорная карта-схема территории исследований с указанием местоположения разреза Бокан

Fig. 1. A General Map showing the Bokhan section location

в окрестностях разреза Бокан в сартанское время позднего неоплейстоцена (MIS 2), уточненное радиоуглеродным датированием.

Материал и методы

Отложения, расчищены на глубину 3 м, описаны и опробованы во время экспедиционных исследований в 2012–2017 гг. 15 образцов для фаунистических исследований были отобраны из сартанских отложений с интервалом 20 см и промыты в полевых условиях через сито диаметром 1–3 мм. Остатки раковин моллюсков немногочисленны — встречены всего 145 целых раковин и их фрагменты (табл. 1).

Видовые определения выполнены по работам M.P. Kerney, R.A.D. Cameron [1999], И.И. Лихарев,

Е.С. Раммельмейер [1952], A. Sysoev, A. Shileyko [2009] и G. Falkner et al. [2002].

Фотографирование раковин моллюсков выполнено на стереомикроскопе Motic SMZ-171 TLED с цифровой камерой Moticam 10+.

Коллекция раковин моллюсков хранится в Институте геологии Уфимского федерального исследовательского центра РАН (г. Уфа).

Строение разреза Бокан

Описание отложений разреза Бокан приведено снизу вверх:

Слой 1. Коричневый суглинок, похожий на суглинок слоя 3, отличается от вышележащих присутствием линз и прослоев гравелистого ожелезненного песка. Вскрытая мощность 1.0 м.

Таблица 1
Состав видов моллюсков из отложений сартанского горизонта разреза Бокган

Table 1

The association of mollusc species from the Sartan Horizon deposits of the Bokhan section

Таксоны	Интервал глубин отбора проб, м											Всего	
	0.5– 0.7	0.7– 0.9	0.9– 1.1	1.1– 1.3	1.3	1.3– 1.5	1.5– 1.7	1.9– 2.1	2.1– 2.3	2.3– 2.5	2.7– 2.9		
	сл. 3		сл. 2			сл. 2-1		сл. 1			сл. 2		
	2017											2012	
1. <i>Succinella oblonga</i> (Draparnaud)		2	3	3	3	6	22	5	4	1	2	25	76
2. Succineidae													1
3. <i>Vallonia tenuilabris</i> (A. Braun)	1	4	1			3	14	3	4	1		26	57
4. <i>Pupilla muscorum</i> (Linnaeus)							4						1
5. <i>Pupilla</i> sp.													1
6. <i>Gyraulus laevis</i> (Alder)													1
Обломки раковин	3					1				+			4
Всего	4	6	4	3	3	10	40	8	8	2	2	55	145

Примечание: сл. 3 — номер слоя; + — количество обломков раковин не подсчитано.

Legend: сл. 3 — layer number; + — quantity of the shell fragments was not calculated.

Слой 2. Коричневый плотный суглинок со слабо выраженной плитчатой отдельностью с многочисленными кротовинами, заполненными породами слоя 1. В верхней части слоя найдены костные остатки лошади. Нижняя граница постепенная, четко не выражена. Мощность 1.1 м.

Слой 3. Светло-коричневый (бурый) суглинок мелкопористый с карбонатным мицелием и кротовинами. Нижняя граница постепенная, четко не выражена. Мощность 0.4 м.

Слой 4. Темно-серый песчанистый суглинок (современная почва) неслоистый с резкой нижней границей. Мощность 0.5 м.

Две AMS даты 20221 ± 52 BP (ТКА-17724) и 20066 ± 52 BP (ТКА-17725) получены профессором Кунью Яшида (Kunio Yoshida) в геохронологической лаборатории Музея университета Токио по костным остаткам *Dicroidonyx* sp. На основании этих находок отложения слоя 2 сопоставлены с сартанским горизонтом верхнего неоплейстоцена (MIS 2).

Результаты малакологических исследований

Были проанализированы материалы из двух раскопов, которые изучались в разные годы. В раскопе 2012 г. малакофауна была собрана из слоя 2 (см. табл. 1). А в раскопе 2017 г. раковины моллюсков отбирались по всей глубине и присутствуют в следующих интервалах (0.5–0.7 м; 0.7–0.9 м; 0.9–1.1 м; 1.1–1.3 м; 1.3 м; 1.3–1.5 м; 1.5–1.7 м; 1.9–2.1 м; 2.1–2.3 м; 2.3–2.5 м; 2.7–2.9 м). Раковины моллюсков распределяются по разрезу неравнотично

мерно. Наибольшее количество раковин сконцентрировано на глубине 1.5–1.7 м. В нижней части разреза на глубине 2.3–2.9 м наблюдается меньшее количество раковин моллюсков.

Определенные раковины принадлежат одному классу *Gastropoda*. Исследования показали, что в пробах присутствуют раковины наземных моллюсков (3 вида, 3 рода) и одна раковина пресноводного моллюска (1 вид, 1 род), а также единичный детрит раковин. Количество определенных раковин по отдельным видам моллюсков из всех проб показано в таблице 1.

Succinella oblonga (Draparnaud, 1801) и *Vallonia tenuilabris* (A. Braun, 1843) являются наиболее многочисленными видами.

Род *Succinella* (рис. 2) представлен видом *S. oblonga* (Drap.), раковины которого имеют хорошую сохранность. Раковина высоко-коническая (высота раковины 7.5–5.0 мм; ширина — 2.0–4.0 мм), тонкостенная. Оборотов 3–3.5, верхние обороты выпуклые, последний оборот менее выпуклый, чем предпоследний, тонко исчерчен, завиток удлинен. Шов глубокий. Устье овально-удлиненное сверху заостренное, края устья острые. Пупок закрыт внутренним краем устья.

Род *Vallonia* (см. рис. 2) представлен видом *V. tenuilabris* (A. Braun), раковины которого также имеют хорошую степень сохранности. Раковина низко-коническая (высота раковины 2.0–1.5 мм, ширина раковины 3.0–2.2 мм) тонко исчерчена,



Рис. 2. Моллюски, найденные в отложениях разреза Бокхан (Прибайкалье, Россия)

Условные обозначения: *Succinella oblonga* (Drap.): 1 — ИГ 345/5319/15, глубина 0.9—1.1 м; 2 — ИГ 345/5320/16, глубина 1.1—1.3 м; 3 — ИГ 345/5323/21, глубина 1.5—1.7 м; 4 — ИГ 345/5324/24, глубина 2.1—2.3 м; 5 — ИГ 345/5327/29, глубина 2.7—2.9 м; *Pupilla muscorum* (L.): 6 — ИГ 345/5323/22, глубина 1.5—1.7 м; *Vallonia tenuilabris* (A. Braun): 7 — ИГ 345/5317/11, глубина 0.5—0.7 м; 8 — ИГ 345/5318/12, глубина 0.7—0.9 м; 9 — ИГ 345/5323/20, глубина 1.5—1.7 м; 10 — ИГ 345/5324/23, глубина 2.1—2.3 м; 11 — ИГ 345/5325/25, глубина 2.1—2.3 м; 12 — ИГ 345/5326/28, глубина 2.3—2.5 м; *Gyraulus laevis* (Alder): 13 — ИГ 344/5316/7, слой 2; а — вид со стороны устья; б — вид сзади (вид со стороны противоположной устью); с — вид сбоку (справа от макушки); д — вид со стороны пупка; е — вид со стороны макушки.

Fig. 2. Molluscs found in the deposits of the Bokhan section (Fore-Baikal region, Russia)

Legend: *Succinella oblonga* (Drap.): 1 — IG 345/5319/15, depth is 0.9—1.1 m; 2 — IG 345/5320/16, depth is 1.1—1.3 m; 3 — IG 345/5323/21, depth is 1.5—1.7 m; 4 — IG 345/5324/24, depth is 2.1—2.3 m; 5 — IG 345/5327/29, depth is 2.7—2.9 m; *Pupilla muscorum* (L.): 6 — IG 345/5323/22, depth is 1.5—1.7 m; *Vallonia tenuilabris* (A. Braun): 7 — IG 345/5317/11, depth is 0.5—0.7 m; 8 — IG 345/5318/12, depth is 0.7—0.9 m; 9 — IG 345/5323/20, depth is 1.5—1.7 m; 10 — IG 345/5324/23, depth is 2.1—2.3 m; 11 — IG 345/5325/25, depth is 2.1—2.3 m; 12 — IG 345/5326/28, depth is 2.3—2.5 m; *Gyraulus laevis* (Alder): 13 — IG 344/5316/7, layer 2; a — apertural view; b — abapertural view (view from the opposite side of the aperture); c — lateral view (top right); d — umbilical view; e — apical view.

с низким завитком. Оборотов 3.5 выпуклых, разделенных глубоким швом. Последний оборот у устья расширен и опущен. Устье округлое, края устья тонкие, немного отвернуты наружу, сближены, без губы. Пупок широкий и открытый.

Род *Pupilla* (см. рис. 2) представлен видом *P. muscorum* (Linnaeus, 1758), раковины которого имеют плохую сохранность. Раковина спирально-винтовая (высота раковины 3.0 мм, ширина — 1.8 мм) с округлой, тупой верхушкой. Оборотов 6–6.5 слабо выпуклых, разделенных почти горизонтальным, неглубоким швом. Тонко и неравномерно исчерчена. Последний оборот с затылочным утолщением, которое продолжается и на нижнюю сторону оборота. Между затылочным утолщением, ближе к устью, присутствует «кольцевая перетяжка». Устье округло-усеченное, внешние края слабо отогнуты, и внутри устья наблюдается белая губа. У всех определенных экземпляров отсутствуют зубы.

Род *Gyraulus* (см. рис. 2) представлен видом *G. laevis* (Alder, 1838), который встречен в единственном экземпляре хорошей сохранности. Раковина спирально-плоскостная (высота раковины 0.7 мм, ширина — 2.9 мм) тонкостенная, гладкая, с нижней стороны немного вогнутая. Оборотов 3.5 быстро нарастающих и покрытых тонкой штриховкой. Последний оборот в два раза шире предпоследнего, у устья немного расширен, киля нет. Шов глубокий. Устье округлое, косое, верхний край вытянут вперед.

Виды наземных моллюсков широко распространены и хорошо приспособлены к прохладным условиям. В основном они населяли биотопы с повышенной влажностью, но в то же время могли жить в относительно сухих местах. Они обитали в пойме или на заливном лугу около водоема. Вид *Succinella oblonga* (Drap.) является гидрофилом, и поэтому мог встречаться непосредственно около воды на растительности. Моллюски *Pupilla muscorum* (L.) и *Vallonia tenuilabris* (A. Braun) жили в лиственной подстилке, во мху и древесной трухе, что свидетельствует о наличии древесной растительности и густого травостоя. Пресноводный моллюск *Gyraulus laevis* (Alder) обитал в старицах или в небольших водоемах на глубине 0.20–1.50 м.

Опираясь на малакологические данные можно предположить, что во время формирования отложений сартанского горизонта существовала река, кустарники и лес, вероятно, росли на берегах реки, а открытые ландшафты господствовали на водоразделах.

Обзор находок моллюсков из отложений MIS 2

Моллюски местонахождения Бокан, так же как и изученного ранее авторами местонахождения Мальта [Khenzykheneva et al., 2018 (in press)], в сравнении с комплексами моллюсков из европейских разрезов отличаются бедностью видового состава.

При сравнении данных о находках моллюсков из отложений, соответствующих стадии MIS 2, различных территорий видно, что основными видами, которые встречаются практически везде являются *Succinella oblonga* (Drap.), *Pupilla muscorum* (L.), *Vallonia tenuilabris* (A. Braun). В зависимости от территориальной принадлежности, в комплексе могут появляться теплолюбивые виды.

Примеры подобных комплексов моллюсков из отложений, коррелируемых с MIS 2, приведены ниже.

Южноуральский регион, Россия. В местонахождении Горново в водносклоновых перигляциальных суглинках, залегающих непосредственно выше датированных озерных осадков, преобладают *Succinella oblonga* (Drap.), *Pupilla muscorum* (L.), *Vallonia tenuilabris* (A. Braun) и некоторые пресноводные виды [Яхимович и др., 1987; Danukalova et al., 2002].

Восточная Европа. На территории Украины в отложениях встречаются раковины широко распространенных холодолюбивых аркто- boreально-альпийских видов — *Vertigo parcedentata* (A. Braun, 1847), *Columella columella* (Martens, 1830), *Vallonia tenuilabris* (A. Braun), *Gyraulus acronicus* (Férussac, 1807), ксерофилов — *Chondrula tridens* (Müller, 1774), *Helicopsis striata* (Müller, 1774), *Xerolenta obvia* (Menke, 1828) и *Pupilla sterri* (Forster, 1840), моллюсков долинных лесов — *Pseudotrichia rubiginosa* (Rossmässler, 1838), *Euconulus fulvus* (Müller, 1774), *Trochulus hispidus* (Linnaeus, 1758), Clausiliidae [Куница, 2007]. А отложения верхнего вейхзеля Карпатского бассейна и территории Венгрии характеризуются малакофауной, где присутствуют мезофильные, ксерофильные и холодолюбивые виды — *Succinella oblonga* (Drap.), *Columella columella* (Martens), *Vertigo alpestris* Alder, 1838, *V. parcedentata* (A. Braun), *Pupilla muscorum* (L.), *P. triplicata* (Studer, 1820), *P. sterri* (Forster), *P. loessica* (Ložek, 1954), *Vallonia costata* (Müller, 1774), *V. tenuilabris* (A. Braun), *Chondrula tridens* (Müll.), *Clausilia dubia* (Draparnaud, 1805), *Vestia turgida* (Rossmässler, 1836), *Punctum pygmaeum* (Draparnaud, 1801), *Semilimax kotulai* (Westerlund,

1883), *Ceciliooides acicula* (Müller, 1774), *Vitrea crystallina* (Müller, 1774), Limacidae, *Euconulus fulvus* (Müller, 1774), *Fruticicola fruticum* (Müller, 1774), *Trochulus hispidus* (L.), *Arianta arbustorum* (Linnaeus, 1758), а также многочисленные пресноводные виды родов — *Pisidium*, *Valvata*, *Gyraulus*, *Bithynia*, *Planorbis*, *Armiger* [Sümegi, Krolopp, 2002; Sümegi et al., 2011].

Центральная Европа. На территории Польши в местонахождениях присутствуют в основном наземные моллюски, среди которых преобладают холодолюбивые виды, типичные для ледниковых отложений — *Vertigo genesii* (Gredler, 1856) и *V. geyeri* Lindholm, 1925, а также гидрофильные и мезофильные широко распространенные виды — *Succinea putris* (Linnaeus, 1758), *Nesovitrea hammonis* (Ström, 1765), *Euconulus fulvus* (Müll.). Из пресноводных видов присутствуют *Galba truncatula* (Müller, 1774) и холодолюбивый вид *Pisidium obtusale* (Lamark, 1818) [Dobrowolski et al., 2012].

В лесовых отложениях местонахождений Машкув (Maszków), Одонув (Odonów), Сенна (Senna), Пиньчув (Pińczów), Сковарж (Skowarcz) (North Poland), Остридж Хилл (Ostryrz Hill) (South Poland) были выделены малакозоны с характерными видами, которые отражают те или иные климатические особенности периода. Здесь были найдены *Pupilla muscorum loessica* (Ložek, 1954), *Pupilla muscorum densegyrata* (Ložek, 1954), *Pupilla muscorum* (L.), *Vallonia tenuilabris* (A. Braun), *Succinella oblonga* (Drap.), *Semilimax kotulai* (Westerlund), *Arianta arbustorum* (L.), *Nesovitrea hammonis* (Ström), *Vertigo genesii* (Gredler), *V. parcedentata* (A. Braun), *V. geyeri* Lindholm, *Columella columella* (Martens) [S. Alexandrowicz, 1986; W. Alexandrowicz, 1999, 2001, 2002, 2009; S. Alexandrowicz, W. Alexandrowicz, 1995a, 1995b; Cieszkowski et al., 2010].

По данным [Marković et al., 2004, 2006, 2007, 2008], в местонахождениях Рума, Муселюк, Ириг, Суек (Сербия) описаны: *Cochlicopa lubrica* (Müller, 1774), *Nesovitrea hammonis* (Ström), *Petronella* sp., *Punctum pygmaeum* (Drap.), *Arianta arbustorum* (L.), *Arianta* sp., *Discus ruderatus* (Hartmann, 1821), *Aegopinella minor* (Stabile, 1864), *A. ressmanni* (Westerlund, 1883), *Fruticicola fruticum* (Müll.), *Succinella oblonga* (Drap.), *Columella columella* (Martens), *Vertigo alpestris* Alder, *V. parcedentata* (A. Braun), *V. pygmaea* (Drap.), *Pupilla muscorum* (L.), *P. triplicata* (Studer, 1820), *P. sterri* (Forster), *P. cf. loessica* Ložek, *Vallonia costata* (Müll.), *V. tenuilabris* (A. Braun), *Chondrula tridens* (Müll.), *Clausilia dubia* Draparnaud, 1805, *Vestia turgida* (Rossm.), *Semilimax kotulai* (Westerlund), *Ceciliooides acicula* (Müll.), *Vitrea crystallina* (Müll.), Limacidae,

Euconulus fulvus (Müll.), *Trochulus hispidus* (L.), *T. striolata* (Pfeif.), *Helicopsis striata* (Müll.), *Oxychilus inopinatus* (Uličny, 1887), *Cepaea vindobonensis* (Férussac, 1821), *Orcula dolium* (Draparnaud, 1801), *Granaria frumentum* (Draparnaud, 1801), *Euconulus fulvus* (Müll.), *Cochlodina laminata* (Montagu, 1803), *Ena montana* (Draparnaud, 1801), *Semilimax semilimax* (Férussac, 1802).

Западная Европа. В отложениях верхнего вейхзеля, местонахождение Нюслох (Nussloch) (Германия), описаны моллюски, среди которых доминируют виды *Pupilla muscorum* (L.), *Succinella oblonga* (Drap.), *Trochulus hispidus* (L.) и *Clausilia parvula* (Férussac, 1802) (= *Clausilia rugosa* (Draparnaud, 1801)) [Moine et al., 2005]. В комплексе присутствуют другие менее многочисленные виды, такие как *Trochulus striolatus* (Pfeiffer, 1828), *Punctum pygmaeum* (Drap.), *Vitrea crystallina* (Müll.), *Arianta arbustorum* (L.), *Discus rotundatus* (Müller, 1774), *Fruticicola fruticum* (Müll.), *Vertigo genesii* (Gredler), *Cochlicopa lubrica* (Müll.), *Columella columella* (Martens), *Orcula dolium* (Drap.) и *Neostyriaca corynodes* (Held, 1836). Вмещающие отложения имеют OSL даты $18.2 \pm 3.7 - 24.8 \pm 4.7$ тыс. лет и ^{14}C даты от 14.7 до 24–25 тыс. лет [Hatté et al., 2001; Lang et al., 2003].

На территории Бретани (Франция) в местонахождениях Лаутвиль (La Haute Ville), Бреа (Bréhat) и Нантуя (Nantais) в формации Сабль д'Ор ле Пе (Sables d'Or les Pins) (MIS 2) комплекс моллюсков представлен доминирующим видом *Pupilla muscorum* (L.), а также менее многочисленными *Vallonia costata* (Müll.), *Succinella oblonga* (Drap.), *Columella columella* (Martens, 1830) и *Clausiliidae* [Monnier, 1980; Danukalova et al., 2013, 2017].

Заключение

В результате исследований были выделены делювиальные осадки сартанского горизонта в интервале глубин 3–0.5 м, мощностью 2.5 м.

Малакологические данные свидетельствуют о том, что в это время существовала долина реки, по берегам которой произрастала кустарниковая и древесная растительность, а открытые ландшафты покрывали междуречья. Незначительное количество видов моллюсков в разрезе Бохан, скорее всего, связано с суровыми климатическими условиями Байкальского региона в сартанское время (MIS 2).

Исследования выполнены при поддержке гранта РFFI 16-05-01096. Работа выполнена частично

в рамках государственных бюджетных тем № 0252-2014-0006, № 0252-2016-0006, № 0340-2016-0003 и государственной программы повышения конкурентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров. Благодарим М.А. Ербаеву за ценные замечания, которые помогли улучшить рукопись.

This research was supported by following grants: RFBR 16-05-01096. This work was partly achieved thanks to the State programmes N-0340-2016-0003, N-0252-2014-0006, N-0252-2016-0006 and the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University. The authors are thankful to M.A. Erbaeva for the valuable comments that helped to improve the manuscript.

Список литературы:

Куница Н.А. Природа Украины в плейстоцене (по данным малакофаунистического состава). — Черновцы: Рута, 2007. — 240 с.

Лихарев И.М., Раммельмайер Е.С. Наземные моллюски фауны СССР. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. — 512 с. — (Определители по фауне СССР, издаваемые зоологическим институтом АН СССР; Т. 43).

Яхимович В.Л., Немкова В.К., Сиднев А.В., Сулейманова Ф.И., Хабибулина Г.А., Шербакова Т.И., Яковлев А.Г. Разрез плейстоцена у археологического памятника Горнова // Плейстоцен Предуралья. — М.: Наука, 1987. — С. 22–50.

Alexandrowicz S.W. Molluscan assemblages from a loess profile at Odonów (Małopolska Upland) // Biuletyn Peryglacjalny. — 1986. — V. 31. — P. 7–15.

Alexandrowicz W.P. Evolution of the malacological assemblages in North Poland during the Late Glacial and Early Holocene // Folia Quaternaria. — 1999. — V. 70. — P. 39–69.

Alexandrowicz W.P. Late Vistulian and Holocene molluscs assemblages calcareous tufa at the Ostryrz Hill (Podhale basin, S. Poland) // Folia Malacologica. — 2001. — V. 9(3). — P. 159–169. — doi.org/10.12657/folmal.009.019.

Alexandrowicz W.P. Mollusc assemblages of an ancient lake in Różyny near Skowarcz (Zuławy Wiślane, N. Poland) // Folia Malacologica. — 2002. — V. 10(4). — P. 215–224. — doi.org/10.12657/folmal.010.013.

Alexandrowicz W.P. Malacostratigraphy of Vistulian and Holocene in Poland // Studia Quaternary. — 2009. — V. 26. — P. 55–63.

Alexandrowicz S., Alexandrowicz W. Molluscan fauna of the Upper Vistulian and Early Holocene sediments of South Poland // Biuletyn Peryglacjalny. — 1995a. — V. 34. — P. 5–18.

Alexandrowicz S., Alexandrowicz W. Quaternary molluscan assemblages of the Polish Carpathian // Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica. — 1995b. — V. 29. — P. 41–54.

Cieszkowski M., Zuchiewicz W., Alexandrowicz W., Wojtal P. A new find of mammoth tusk in loess-like sediments of the Zakliczyn basin (Outer Western Carpathians, Poland) // Annales Societatis Geologorum Poloniae. — 2010. — V. 80. — P. 89–99.

Danukalova G.A., Yakovlev A.G., Puchkov V.N., Danukalov K.N., Agadjanian A.K., Van Kolfschoten Th., Morozova E.M., Ereemev A.A. Excursion Guide of the INQUA SEQS—2002 conference, 30 June – 7 July 2002, Ufa, Russia (INQUA SEQS—2002 conference “The Upper Pliocene – Pleistocene of the Southern Urals region and its significance for correlation of eastern and western parts of Europe”). — Ufa: Dauria Press., 2002. — 139 p.

Danukalova G., Lefort J.-P., Osipova E., Monnier J.-L. Recent advances in the stratigraphy of the Upper Pleistocene of Westernmost Europe: La Haute Ville and Bréhat Cliffs (Northern Brittany, France) // Quaternary International. — 2013. — V. 284. — P. 30–44. — doi.org/10.1016/j.quaint.2011.10.027.

Danukalova G.A., Lefort J.P., Monnier J.L., Osipova E.M., Pustoc'h F., Le Bannier J.-Ch. Sedimentological and malacological comparisons between the Upper Saalian and Upper Weichselian loess superimposed in the Nantais cliff (Brittany, France): Reconstruction of their environments south of the British Ice Sheet // ArcheoSciences. Revue d’Archeometrie. — 2017. — V. 41-2. — P. 63–84. — doi: 10.4000/archeosciences.5001.

Dobrowolski R., Pidek I., Alexandrowicz W., Hałas S., Pazdur A., Piotrowska N., Buczek A., Urban D., Melke J. Interdisciplinary studies of spring mire deposits from Radzików (South Podlasie Lowland, Eastb Poland) and their significance for palaeoenvironmental reconstruction // Geochronometria. — 2012. — V. 39(1). — P. 10–29. — doi.org/10.2478/s13386-011-0052-3.

Falkner G., Ripken T.E.J., Falkner M. Mollusques continentaux de France. Liste de references annotées et Bibliographie. Patrimoines naturels 52. — Paris: Publications Scientifiques du M.N.H.N., 2002. — 350 p. — (Museum National d’ Histoire Naturelle, Paris, France).

Hatté C., Pessenda L.-C., Lang A., Paterne M. Development of accurate and reliable ^{14}C chronologies for loess deposits: application to the loess sequence of Nussloch (Rhine valley, Germany) // Radiocarbon. — 2001. — V. 43. — P. 611–618. — doi.org/10.1017/s0033822200041266.

Kerney M.P., Cameron R.A.D. Guide des Escargots et limaces d’ Europe. Delachaux et Niestle S.A. 3. — Lausanne, 1999. — 70 p.

Khensykheneva F.I., Lipnina E.A., Danukalova G.A., Shchetnikov A., Osipova E.M., Semenei E.Y., Tumurov E.G., Lokhov D.N. The area of world famous geoarchaeological site Mal’ta (Baikal Siberia): chronology, archaeology and fauna (new data) // Quaternary International, 2018. doi.org/10.1016/j.quaint.2018.02.026. (In press).

Lang A., Hatté C., Rousseau D.-D., Antoine P., Fontugne M., Zöller L., Hambach U. High resolutions chronologies for loess: comparing AMS- ^{14}C and optical dating results // Quaternary Science Reviews. — 2003. — V. 22. — P. 953–959.

Marković S.B., Oches E.A., Gaudenzi T., Jovanović M., Hambach U., Zöller L., Siemegi P. Paleoclimate record in the Late Pleistocene loess-paleosol sequence at Miseluk (Vojvodina, Serbia) // Quaternaire. — 2004. — V. 15. — P. 361–368. — doi.org/10.3406/quate.2004.1781.

Marković S.B., Oches E., Siemegi P., Jovanović M., Gaudenzi T. An introduction to the Upper and Middle Pleistocene loess-paleosol sequences of Ruma brickyard, Vojvodina, Serbia // Quaternary International. — 2006. — V. 149. — P. 80–86. — doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.020.

Marković S.B., Oches E.A., McCoy W.D., Gaudenyi T., Frechen M. Malacological and sedimentological evidence for “warm” climate from the Irig loess sequence (Vojvodina, Serbia) // *Geophysics, Geochemistry and Geosystems*. – 2007. – V. 8 (9). – P. 1–12. – doi.org/10.1029/2006gc001565.

Marković S.B., Bokhorst M., Vandenberghe J., Oches E.A., Zöller L., McCoy W.D., Gaudenyi T., Jovanović M., Hambach U., Machalett B. Late Pleistocene loess-paleosol sequences in the Vojvodina region, North Serbia // *Journal of Quaternary Science*. – 2008. – V. 23 – P. 73–84. – doi.org/10.1002/jqs.1124.

Moine O., Rousseau D.-D., Antoine P. Terrestrial molluscan records of Weichselian Lower to Middle Pleniglacial climatic changes from the Nussloch loess series (Rhine Valley, Germany): the impact of local factors // *Boreas*. – 2005. – V. 34. – P. 363–380. – doi.org/10.1080/03009480510013060.

Monnier J.L. Le paleolithique de la Bretagne dans son cadre géologique. Travaux du Laboratoire d’Anthropologie e Prehistoire e Protohistoire et Quaternaire Armoricains. Serie C. No. 27. Thèse. – Université de Rennes 1, 1980. – 607 p.

Sümegei P., Krolopp E. Quartermalacological analyses for modeling of the Upper Weichselian palaeoenvironmental changes in the Carpathian Basin // *Quaternary International*. – 2002. – V. 91. – P. 53–63. – doi.org/10.1016/s1040-6182(01)00102-1.

Sümegei P., Gulyás S., Persaitis G., GergelyPál D., Molnar D. The loess-paleosol sequence of Basaharc (Hungary) revisited: Mollusc-based paleoecological results for the Middle and Upper Pleistocene // *Quaternary International*. – 2011. – V. 240. – P. 181–192. – doi.org/10.1016/j.quaint.2011.05.005.

Sysoev A., Shileyko A. Land Snails and Slugs of Russia and adjacent countries. Sofia – Moscow: Pensoft Publishers, 2009. – 312 p.

References:

Alexandrowicz S.W. Molluscan assemblages from a loess profile at Odonów (Małopolska Upland) // *Bulletin Peryglacjalny*. – 1986. – V. 31. – P. 7–15.

Alexandrowicz W.P. Evolution of the malacological assemblages in North Poland during the Late Glacial and Early Holocene // *Folia Quaternaria*. 1999. V. 70. P. 39–69.

Alexandrowicz W.P. Late Vistulian and Holocene molluscs assemblages calcareous tufa at the Ostryrz Hill (Podhale basin, S. Poland) // *Folia Malacologica*. 2001. V. 9 (3). P. 159–169. doi.org/10.12657/folmal.009.019.

Alexandrowicz W.P. Mollusc assemblages of an ancient lake in Różyny near Skowarcz (Zuławy Wiślane, N. Poland) // *Folia Malacologica*. – 2002. – V. 10 (4). – P. 215–224. – doi.org/10.12657/folmal.010.013.

Alexandrowicz W.P. Malacostratigraphy of Vistulian and Holocene in Poland // *Studia Quaternary*. – 2009. – V. 26. – P. 55–63.

Alexandrowicz S., Alexandrowicz W. Molluscan fauna of the Upper Vistulian and Early Holocene sediments of South Poland // *Bulletin Peryglacjalny*. – 1995a. – V. 34. – P. 5–18.

Alexandrowicz S., Alexandrowicz W. Quaternary molluscan assemblages of the Polish Carpathian // *Studia Geomorphologica Carpatho-Balkanica*. – 1995b. – V. 29. – P. 41–54.

Cieszkowski M., Zuchiewicz W., Alexandrowicz W., Wojtal P. A new find of mammoth tusk in loess-like sediments of

the Zakliczyn basin (Outer Western Carpathians, Poland) // *Annales Societatis Geologorum Poloniae*. – 2010. – V. 80. – P. 89–99.

Danukalova G.A., Yakovlev A.G., Puchkov V.N., Danukalov K.N., Agadjanian A.K., Van Kolfschoten Th., Morozova E.M., Eremin A.A. Excursion Guide of the INQUA SEQS – 2002 conference, 30 June – 7 July 2002, Ufa, Russia (INQUA SEQS – 2002 conference “The Upper Pliocene – Pleistocene of the Southern Urals region and its significance for correlation of eastern and western parts of Europe”). – Ufa: Dauria Press., 2002. – 139 p.

Danukalova G., Lefort J.-P., Osipova E., Monnier J.-L. Recent advances in the stratigraphy of the Upper Pleistocene of Westernmost Europe: La Haute Ville and Bréhat Cliffs (Northern Brittany, France) // *Quaternary International*. – 2013. – V. 284. – P. 30–44. – doi.org/10.1016/j.quaint.2011.10.027.

Danukalova G.A., Lefort J.P., Monnier J.L., Osipova E.M., Pustoc'h F., Le Bannier J.-Ch. Sedimentological and malacological comparisons between the Upper Saalian and Upper Weichselian loess superimposed in the Nantais cliff (Brittany, France): Reconstruction of their environments south of the British Ice Sheet // *ArcheoSciences. Revue d’Archéométrie*. – 2017. – V. 41-2. – P. 63–84. – doi: 10.4000/archeosciences.5001.

Dobrowolski R., Pidek I., Alexandrowicz W., Hałas S., Pazdur A., Piotrowska N., Buczek A., Urban D., Melke J. Interdisciplinary studies of spring mire deposits from Radzików (South Podlasie Lowland, East Poland) and their significance for palaeoenvironmental reconstruction // *Geochronometria*. – 2012. – V. 39 (1). – P. 10–29. – doi.org/10.2478/s13386-011-0052-3.

Falkner G., Ripken T.E.J., Falkner M. Mollusques continentaux de France. Liste des références annotées et Bibliographie. Patrimoines naturels 52. – Paris: Publications Scientifiques du M.N.H.N., 2002. – 350 p. – (Museum National d’Histoire Naturelle, Paris, France).

Hatté C., Pessenda L.-C., Lang A., Paterné M. Development of accurate and reliable ^{14}C chronologies for loess deposits: application to the loess sequence of Nussloch (Rhine valley, Germany) // *Radiocarbon*. – 2001. – V. 43. – P. 611–618. – doi.org/10.1017/s003822200041266.

Kerney M.P., Cameron R.A.D. Guide des Escargots et limaces d’Europe. Delachaux et Niestle S.A. 3. – Lausanne, 1999. – 70 p.

Khenzykhenova F.I., Lipnina E.A., Danukalova G.A., Shchetnikov A., Osipova E.M., Semenei E.Y., Tumurov E.G., Lokhov D.N. The area of world famous geoarchaeological site Mal’ta (Baikal Siberia): chronology, archaeology and fauna (new data) // *Quaternary International*, 2018. doi.org/10.1016/j.quaint.2018.02.026. (In press).

Kunitsa N.A. Priroda Ukrayini v Pleistocene (soglasno malakologiceskomu analisu) [Nature of Ukraine during Pleistocene (according to malacological analysis)]. Chernovcy: Ruta Press, 2007. 240 p. (in Russian).

Lang A., Hatté C., Rousseau D.-D., Antoine P., Fontugne M., Zöller L., Hambach U. High resolution chronologies for loess: comparing AMS- ^{14}C and optical dating results // *Quaternary Science Reviews*. – 2003. – V. 22. – P. 953–959.

Likharev I.M., Rammelmeier E.S. Nazemnye mollyuski fauny SSSR [Land molluscs of the Fauna of the USSR]. Moscow,

Leningrad: Academy of Sciences of USSR Press., 1952. 512 p. (Opredeliteli po faune SSSR, izdavaemye zoologicheskim institutom AN SSSR; T. 43) (in Russian).

Marković S.B., Oches E.A., Gaudenyi T., Jovanović M., Hambach U., Zöller L., Siimegi P. Paleoclimate record in the Late Pleistocene loess-paleosol sequence at Miseluk (Vojvodina, Serbia) // *Quaternaire*. — 2004. — V. 15. — P. 361–368. — doi.org/10.3406/quate.2004.1781.

Marković S.B., Oches E., Siimegi P., Jovanović M., Gaudenyi T. An introduction to the Upper and Middle Pleistocene loess-paleosol sequences of Ruma brickyard, Vojvodina, Serbia // *Quaternary International*. — 2006. — V. 149. — P. 80–86. — doi.org/10.1016/j.quaint.2005.11.020.

Marković S.B., Oches E.A., McCoy W.D., Gaudenyi T., Frechen M. Malacological and sedimentological evidence for “warm” climate from the Irig loess sequence (Vojvodina, Serbia) // *Geophysics, Geochemistry and Geosystems*. — 2007. — V. 8 (9). — P. 1–12. — doi.org/10.1029/2006gc001565.

Marković S.B., Bokhorst M., Vandenbergh J., Oches E.A., Zöller L., McCoy W.D., Gaudenyi T., Jovanović M., Hambach U., Machalett B. Late Pleistocene loess-paleosol sequences in the Vojvodina region, North Serbia // *Journal of Quaternary Science*. — 2008. — V. 23 — P. 73–84. — doi.org/10.1002/jqs.1124.

Moine O., Rousseau D.-D., Antoine P. Terrestrial molluscan records of Weichselian Lower to Middle Pleniglacial climatic

changes from the Nussloch loess series (Rhine Valley, Germany): the impact of local factors // *Boreas*. — 2005. — V. 34. — P. 363–380. — doi.org/10.1080/03009480510013060.

Monnier J.L. Le paleolithique de la Bretagne dans son cadre géologique. *Travaux du Laboratoire d’Anthropologie et de Préhistoire et Protohistoire et Quaternaire Armoricains. Serie C. No. 27. Thèse*. — Université de Rennes 1, 1980. — 607 p.

Siimegi P., Kroopp E. Quartermalacological analyses for modeling of the Upper Weichselian palaeoenvironmental changes in the Carpathian Basin // *Quaternary International*. — 2002. — V. 91. — P. 53–63. — doi.org/10.1016/s1040-6182(01)00102-1.

Siimegi P., Gulyás S., Persaits G., Gergely Pál D., Molnar D. The loess-paleosol sequence of Basaharc (Hungary) revisited: Mollusc-based paleoecological results for the Middle and Upper Pleistocene // *Quaternary International*. — 2011. — V. 240. — P. 181–192. — doi.org/10.1016/j.quaint.2011.05.005.

Sysoev A., Shileyko A. Land Snails and Slugs of Russia and adjacent countries. Sofia — Moscow: Pensoft Publishers, 2009. — 312 p.

Yakhemovich V.L., Nemkova V.K., Sydnev A.V., Suleimanova F.I., Khabibullina G.A., Sherbakova T.I., Yakovlev A.G. Razrez pleistotsena y archeologiceskogo pamiatnika Gornova [Pleistocene section of the archarological monument Gornovo] // Pleistocene Preduralya (Pleistocene of the Fore-Urals). M.: Nauka Press, 1987. P. 22–50 (in Russian).

Сведения об авторах:

Осипова Евгения Михайловна, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: myrtle@mail.ru

Данукалова Гузель Анваровна, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: danukalova@ufaras.ru

Хензыхенова Федора Ирдэмовна, канд. геол.-мин. наук, Геологический Институт, Сибирское отделение Российской академии наук (ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ. E-mail: khenzy@mail.ru

About the authors:

Osipova Evgeniya, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: myrtle@mail.ru

Danukalova Guzel, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: danukalova@ufaras.ru

Khenzykhenva Fedora, candidate of geological and mineralogical sciences, Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS), Ulan-Ude. E-mail: khenzy@mail.ru

УДК 552.321.6+549.5

DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-6>

УЛЬТРАМАФИТЫ МАССИВА УЗЯНСКИЙ КРАКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2018 г. Д. Е. Савельев, Я. Н. Нугуманова, Р. А. Гатауллин, С. Н. Сергеев

Аннотация. Приведены результаты структурно-петрографического и минералого-geoхимического изучения мантийных ультрамафитов массива Узянский Крака. Показано, что массив сложен в различной степени истощенными мантийными тектонитами перидотитового состава и сходен с типичными мантийными разрезами оphiолитовых ассоциаций. Основными породообразующими минералами являются высокомагнезиальный оливин, ромбические и моноклинные пироксены с низким содержанием железа. Все породообразующие минералы изученных ультрамафитов обнаруживают признаки пластической деформации. Хромшпинелиды характеризуются значительной вариацией состава по соотношению Cr/Al, при этом имеется разрыв в содержании хрома между дунитами и гарцбургитами. Содержание редкоземельных элементов близко к хондритовому, что указывает в целом на незначительную степень истощения исходного мантийного субстрата. На диаграмме в координатах Cr# – Fo фигуративные точки сосуществующих шпинелидов и оливинов изученных образцов выстраиваются в линию, направленную вдоль тренда изменения составов данных минералов в результате процесса частичного плавления неистощенного мантийного вещества. В пироксенах отмечается прямая корреляция между концентрациями основных примесных элементов — алюминия и хрома, отмечается закономерное понижение их содержаний от крупных деформированных кристаллов к необластям. Составы сосуществующих хромшпинелидов и оливинов и geoхимические особенности пород свидетельствуют о том, что изученные перидотиты вероятнее всего являются реститами от умеренных степеней частичного плавления мантийного источника (15–20%). При последующей реоморфической трансформации произошло образование дунитов с хромититовой минерализацией на участках локализации пластического течения.

Ключевые слова: ультрамафиты, перидотиты, дуниты, хромшпинелиды, оливин, ортопироксен, оphiолиты, Крака

ULTRAMAFIC ROCKS OF THE UZYANSKY KRAKA MASSIF (THE SOUTHERN URALS)

D. E. Saveliev, Ya. N. Nugumanova, R. A. Gataullin, S. N. Sergeev

Abstract. We present some results of structural, petrographical, mineralogical and chemical studies of mantle ultramafic rocks of the Uzyansky Kraka massif. It is shown that the massif is composed of different depleted mantle peridotite tectonites. These are similar to ordinary mantle sections of ophiolite assemblages. The main rock-forming minerals are olivine (Fo 91–93), low-Fe orthopyroxene and clinopyroxene. All these demonstrate a deformation structure. Chromian spinels have a wide Cr/Al variations with a gap of Cr-contains between dunites and peridotites. REE-contains of ultramafic rocks are similar to chondritic one. This means that a mantle source was depleted insignificantly. On the Cr# – Fo diagram, all points form a trend parallel to a fertile mantle source partial melting direction. Pyroxenes demonstrate a positive correlation between aluminium and chromium, the main impurities concentrations. It is observed that Al and Cr content decrease from deformed porphyroblasts to neoblasts. The compositions of coexisting olivine and cromian spinel and chemical peculiarities of rocks show that studied peridotites were formed as restite from moderate partial melting (15–20%) of mantle source. A successive rheomorphic transformation have formed numerous dunite bodies with chromitite mineralizations in the places of plastic flow localization.

Keywords: ultramafic rock, peridotite, dunite, chrome spinel, olivine, orthopyroxene, ophiolite, Kraka

Для цитирования: Савельев Д.Е., Нугуманова Я.Н., Гатауллин Р.А., Сергеев С.Н. Ультрамафиты массива Узянский Крака (Южный Урал) // Геологический вестник. 2018. №3. С. 79–97. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-6>.

For citation: Saveliev D.E., Nugumanova Ya.N., Gataullin R.A., Sergeev S.N. Ultramafic rocks of the Uzyansky Kraka massif (the Southern Urals) // Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P. 79–97. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-6>.

Введение

Офиолитовые ультрамафиты пользуются широким распространением в структуре складчатого пояса Урала. Одним из наиболее крупных комплексов на Южном Урале является Кракинский, который включает четыре массива общей площадью около 900 км². Массивы Южный и Средний Крака довольно хорошо освещены в литературе благодаря расположенным в их пределах многочисленным месторождениям и рудопроявлениям хромититов. Массивы Северный и Узянский являются менее изученными, и данная статья в некоторой степени восполняет существующий пробел. Наиболее исследованными на массиве Узянский Крака являются тела гранатовых габброидов и пироксенитов, расположенные в его центральной части [Русин, 2002], в несколько меньшей степени изучен состав акцессорных хромшпинелидов [Чашухин и др., 2007].

Целью настоящей работы является выявление минералого-geoхимических и структурных особенностей ультрамафитов мантийного разреза массива Узянский Крака. Основными задачами исследования являются: определение минерального состава пород, установление характера рудной минерализации и последовательности минералообразования.

Фактический материал

Геологическое строение. Массив Узянский Крака на современном эрозионном срезе представлен в виде овала, вытянутого в меридиональном направлении на 12 км при ширине около 3.5 км (рис. 1). По площади (40 км²) он уступает другим массивам и его внутренняя часть практически полностью сложена породами мантийного разреза — шпинелевыми перidotитами с подчиненными телами дунитов (рис. 2). Наиболее обычным вторичным процессом, проявленным в ультрамафитах, является низкотемпературная серпентинизация (петельчатый серпентин, хризотил, лизардит). Содержание минералов группы серпентина в ультрамафитах внутренней части массива изменяется от 30 до 80%, полная серпентинизация отмечается на тектонических границах блоков. Незначительным распространением в пределах массива пользуются жильные образования, представленные небольшими телами пироксенитов и габброидов [Савельев и др., 2008].

По периферии ультрамафиты полностью превращены в лизардитовые и хризотиловые серпен-

тиниты, которые образуют непрерывную зону преимущественно мономиктового меланжа шириной 0.5–2.5 км. Редко среди серпентинитов встречаются будины кремнистых пород, кварцевых песчаников и родингитов.

В обнажениях перidotиты обычно представлены трещиноватыми, выветрелыми породами коричневого цвета, иногда с зеленоватым оттенком (см. рис. 2). Основная масса сложена оливином. На коричневато-буровой корке выветривания наблюдаются таблитчатые зерна ортопироксена с характерным перламутровым блеском, также встречаются небольшие зерна хромшпинелида.

Петрографический состав и структурные особенности ультрамафитов. При изучении пород под микроскопом и по данным рентгенофазового анализа был определен следующий минеральный состав перidotитов (рис. 3): оливин 30 об. %, моноклинный пироксен до 5 об. %, ромбический пироксен 3 об. %, хромшпинелид 0.5–3 об. %; главным вторичным минералом является петельчатый серпентин (от 14 до 100 об. %) и сопутствующий ему пылевидный магнетит (до 2–5 об. %), реже встречаются тальк (до 1 об. %), хлорит (до 1 об. %). Наиболее типичными являются псевдорпорфировая текстура и петельчатая структура пород. Основная масса представлена серпентинизированным оливином, на фоне которого выделяются более крупные таблитчатые кристаллы менее измененного ортопироксена (рис. 4).

Оливин является главным породообразующим минералом ультрамафитов мантийного разреза. Он представлен субдиоморфными зернами размером от 0.1 до 2 мм, разбитыми сетью микротрещин, вдоль которых развивается петельчатый серпентин (см. рис. 4б, г; рис. 5б, г). Во многих кристаллах оливина фиксируются структуры, сформированные в результате пластической деформации. К ним относятся полосы пластического излома, неоднородное погасание различно ориентированных блоков минерала.

Хромшпинелид постоянно присутствует в ультрамафитах в небольших количествах (от 0.1 до 5 об. %), его окраска, размеры и морфологические особенности зерен варьируют в значительном диапазоне. В тонких срезах перidotитов хромшпинелиды просвечиваются от светло-желтого до темно-коричневого, наиболее густая окраска характерна для акцессорных минералов из дунитов и рудообразующих хромшпинелидов (рис. 6).

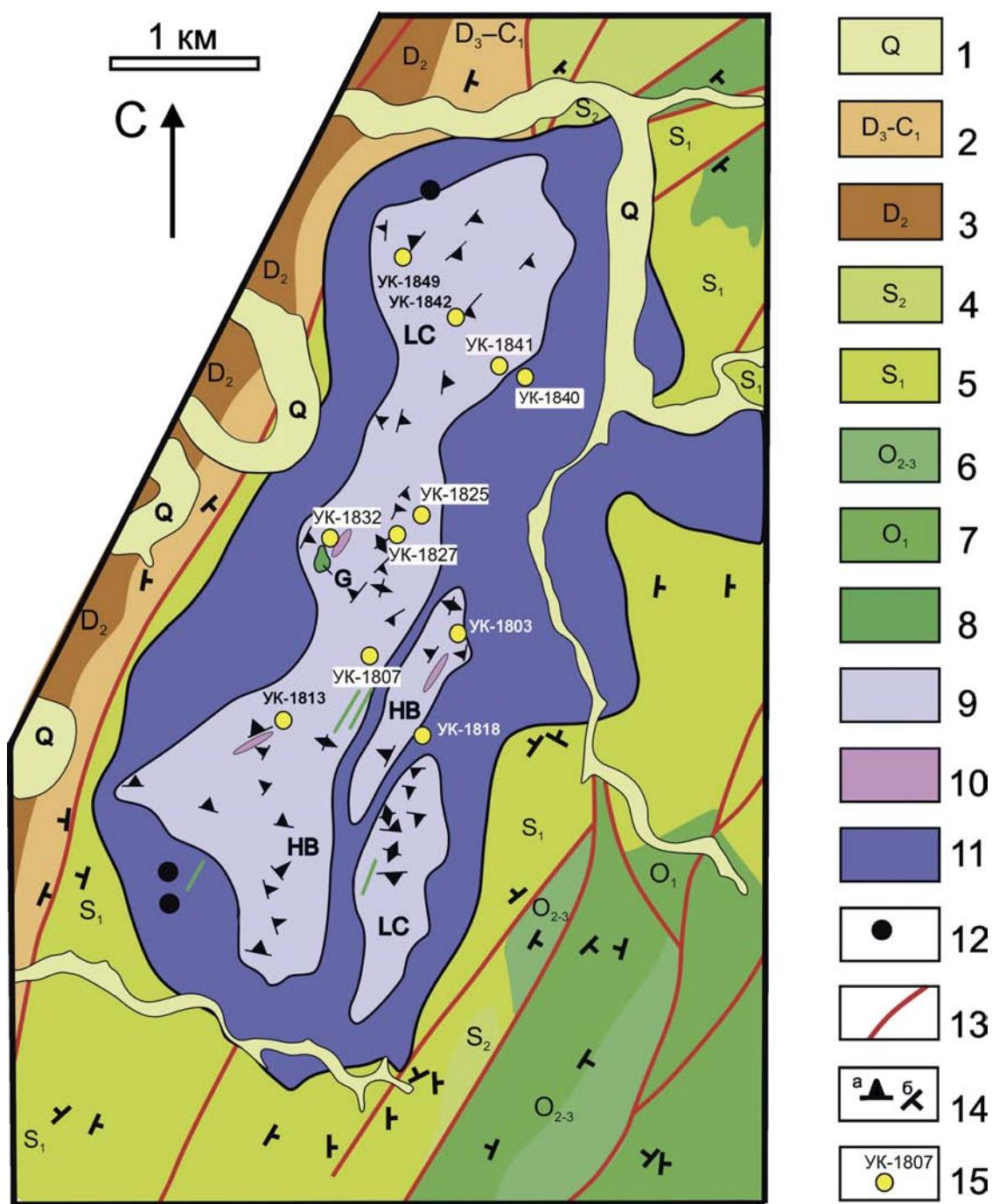


Рис. 1. Геологическое строение ультрамафитового массива Узянский Крака. Составлена с использованием данных работ [Савельева, 1987; Савельев и др., 2008]

Условные обозначения: 1 — четвертичные аллювиальные отложения; 2 — верхний девон – нижний карбон, полимиктовые песчаники, алевролиты; 3 — средний девон, известняки; 4 — верхний силур, доломиты; 5 — нижний силур, глинистые сланцы; 6 — средний – верхний ордовик, кварцевые песчаники и гравелиты; 7 — нижний ордовик, глинистые сланцы; 8 — габбро; 9 — шпинелевые перидотиты; 10 — шпинелевые перидотиты с выделениями дунитов; 11 — серпентиниты; 12 — проявления хромититов; 13 — разрывные нарушения; 14 — элементы залегания: а — полосчатости в ультрамафитах, б — слоистости во вмещающих породах; 15 — точки отбора образцов.

Fig. 1. Sketch geological map of Uzyansky Kraka ultramafic massif. After works [Savelieva, 1987; Saveliev et al., 2008]

Legend: 1 — Quaternary alluvial deposits; 2 — Upper Devonian – Lower Carboniferous, polymictic sandstones, aleurolites; 3 — Middle Devonian, limestones; 4 — Lower Silurian, clay shales; 5 — Upper Silurian, dolomites; 6 — Viddle – Upper Ordovician, quartz sandstones and gravelites; 7 — Lower Ordovician, clay shales; 8 — gabbro; 9 — spinel peridotites; 10 — spinel peridotites with dunite bodies; 11 — serpentinites; 12 — chromitite occurrences; 13 — faults; 14 — structural elements: a — banding and foliation in ultramafic rocks; б — lamination in country rocks; 15 — sampling points.

В перидотитах хромшпинелиды представлены ксеноморфными либо гипидиоморфными зернами, размеры варьируют в значительном диапазоне — от первых микрон до 1 мм и более (рис. 5–7). Наиболее тонкие выделения встречаются на гра-

ницах субзерен пластически деформированных оливинов и ортопироксенов, одни из подобных примеров представлен на рис. 7в, д. Более крупные кристаллы часто имеют ответвления, захватывающие фрагменты силикатов (см. рис. 6ж, з; рис. 7б).

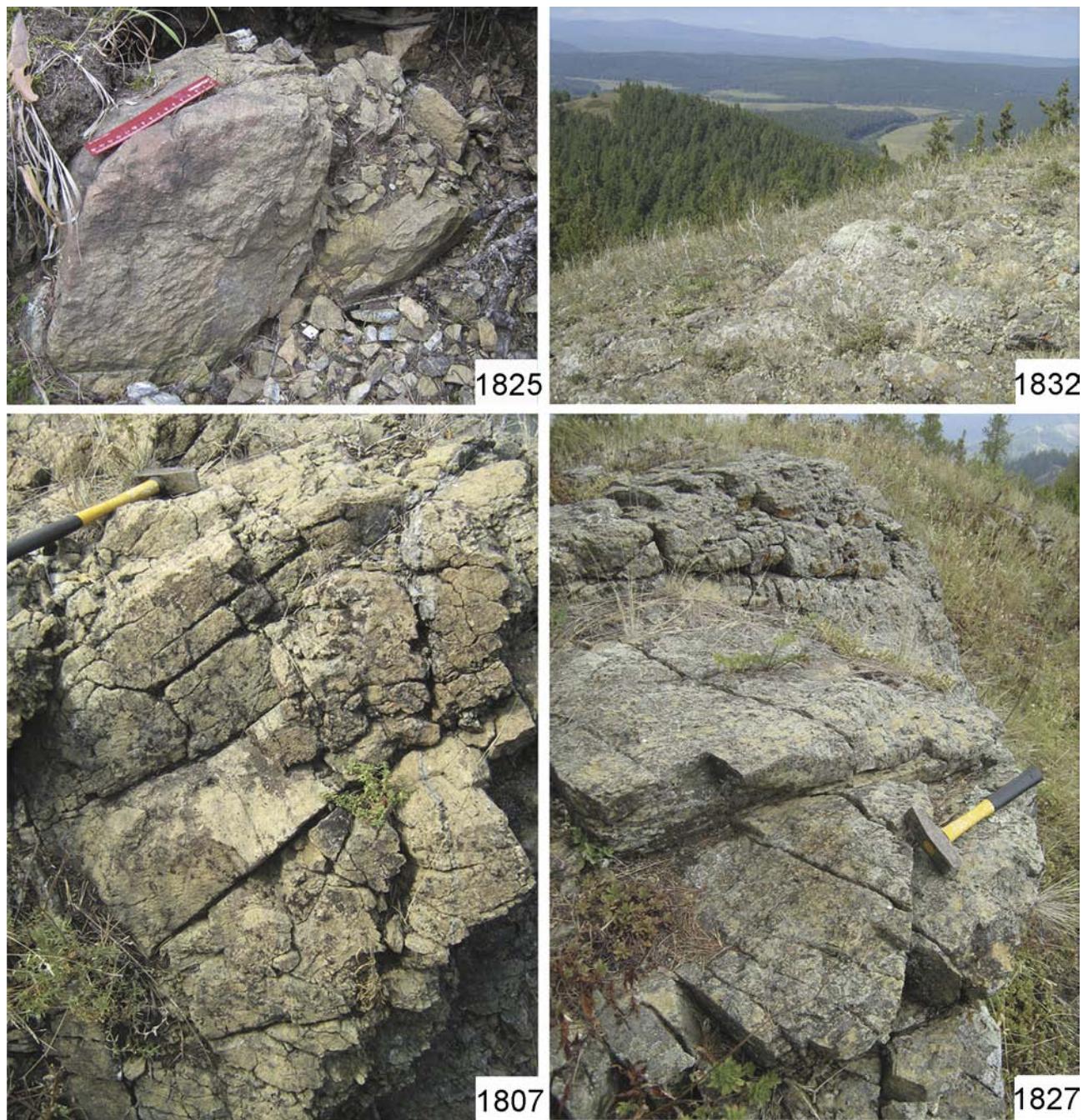


Рис. 2. Типичные обнажения ультрамафитов в центральной части массива Узянский Крака

Примечание: в правых нижних частях снимков указаны номера обнажений.

Fig. 2. Typical outcrops of ultramafic rocks in the central part of Uzyansky Kraka

Note: numbers of outcrops are shown in the right below parts of photos.

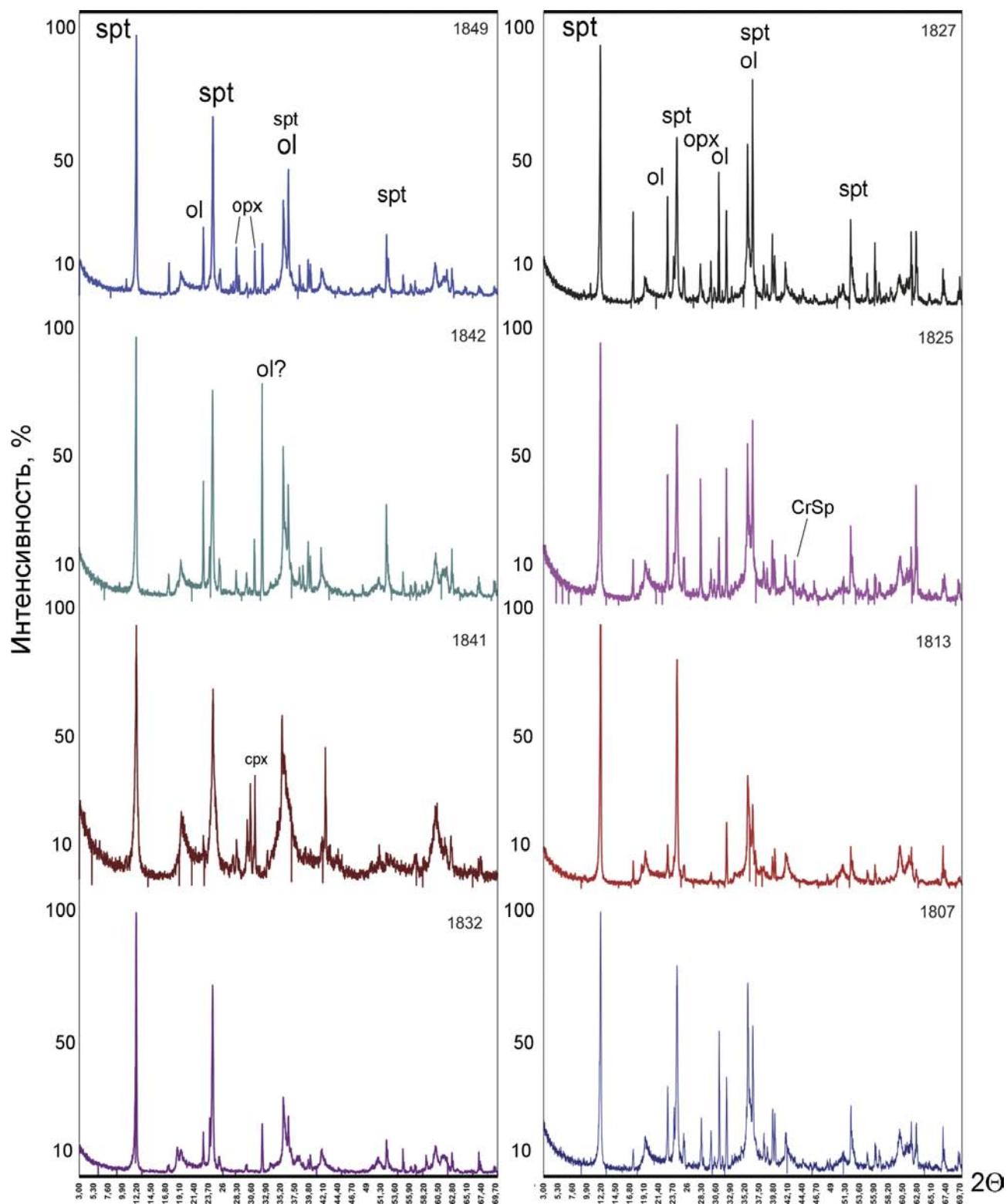


Рис. 3. Минеральный состав ультрамафитов по данным рентгенофазового анализа

Примечание: spt — серпентин, орх — ортопироксен, срх — клинопироксен, ол — оливин, CrSp — хромшпинелид.

Fig. 3. Mineralogical composition of ultramafic rocks defined with XRD

Note: spt — serpentine, opx — orthopyroxene, cpx — clinopyroxene, ol — olivine, CrSp — chromian spinel.

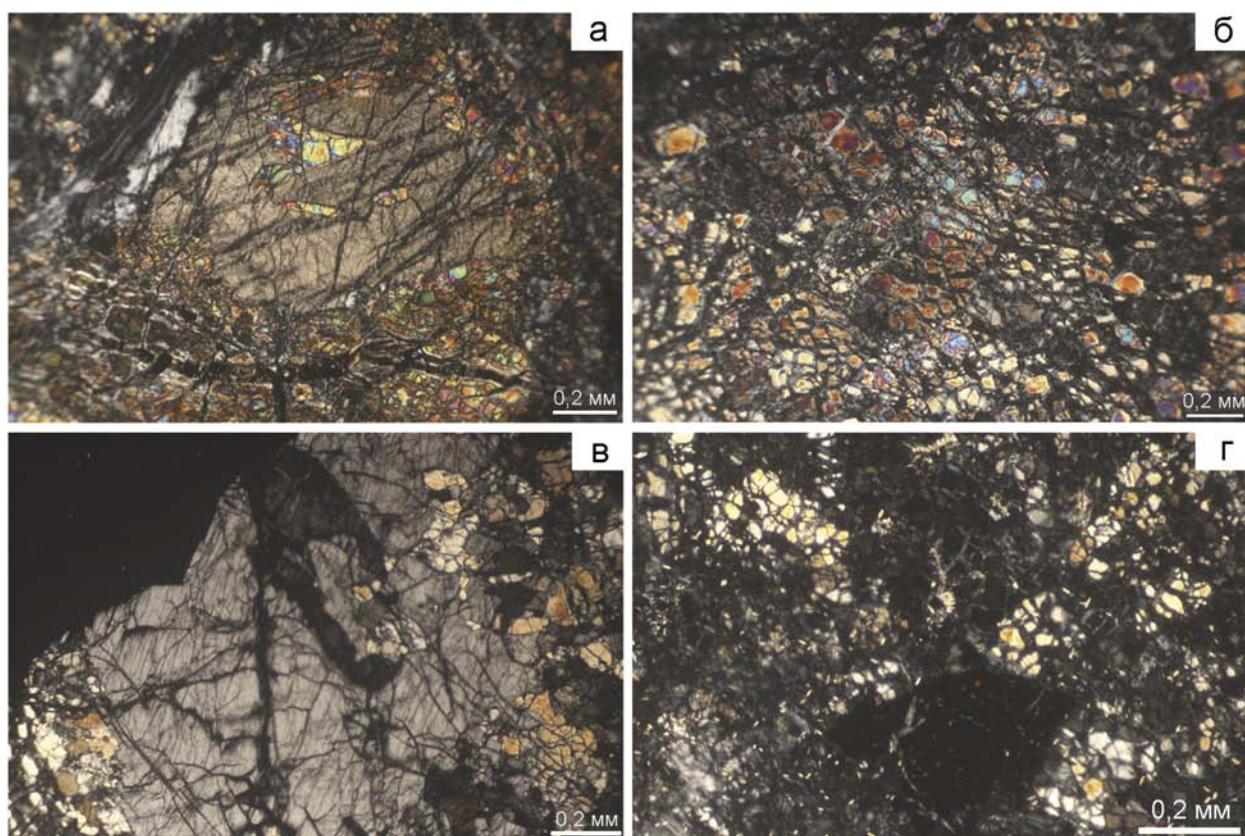


Рис. 4. Микроскопическое строение серпентинизированных перидотитов и дунитов

Примечание: а, в — крупные кристаллы ортопироксена среди серпентинизированного оливина; б, г — типичная петельчатая структура серпентинизированного оливина; снимки в плоско-поляризованном проходящем свете, николи скрещены.

Fig. 4. Microscopical composition of serpentinitized peridotites and dunites

Note: а, в — porphyroclasts of orthopyroxene among serpentinized olivine; б, г — typical mesh texture of serpentinized olivine; photomicrograph in the cross-polarized transmitted light.

Аксессорные хромшпинелиды из дунитов обладают большим идиоморфизмом (см. рис. 6з), при этом часто зерна являются округлыми (см. рис. 7в) и так же, как в перидотитах, осложнены тонкими ответвлениями.

Ромбический пироксен встречается в виде таблитчатых и призматических кристаллов размером 0.5–2 мм (см. рис. 4а, в; рис. 5а). В отдельных крупных зернах отмечается начальная стадия разориентировки блоков, выраженная в неоднородном погасании; внутри них часто развиты закономерные вrostки (ламелли) моноклинного пироксена. В большинстве случаев зерна ортопироксена частично или полностью замещены тальком и серпентином.

Моноклинный пироксен в перидотитах наблюдается в виде более мелких неправильных зерен размером 0.15–0.4 мм (см. рис. 5б; рис. 7г), в шлифах бесцветен. Вторичные изменения пироксенов проявлены в образовании баститовых псевдомор-

фоз, в большей степени это характерно для ортопироксена.

Состав породообразующих и акцессорных минералов. Химические составы породообразующих минералов и акцессорных хромшпинелидов приведены в таблицах 1–4. Моноклинный пироксен из перидотитов представлен диопсидом с низкими содержаниями железа (менее 1.93 мас. % FeO) и алюминия (до 2.77 мас. % Al₂O₃), главным примесным элементом является хром (до 1.12 мас. % Cr₂O₃), в одном анализе обнаружен титан (0.32 мас. % TiO₂).

Ромбический пироксен представлен высокомагнезиальной разновидностью — энстатитом, он характеризуется незначительным содержанием железа (5.14–6.23 мас. % FeO) и алюминия (до 2.31 мас. % Al₂O₃). Наиболее значимые элементы-примеси представлены кальцием (0.23–0.76 мас. % CaO), хромом (до 0.62 мас. % Cr₂O₃), марганцем (до 0.28 мас. % MnO).

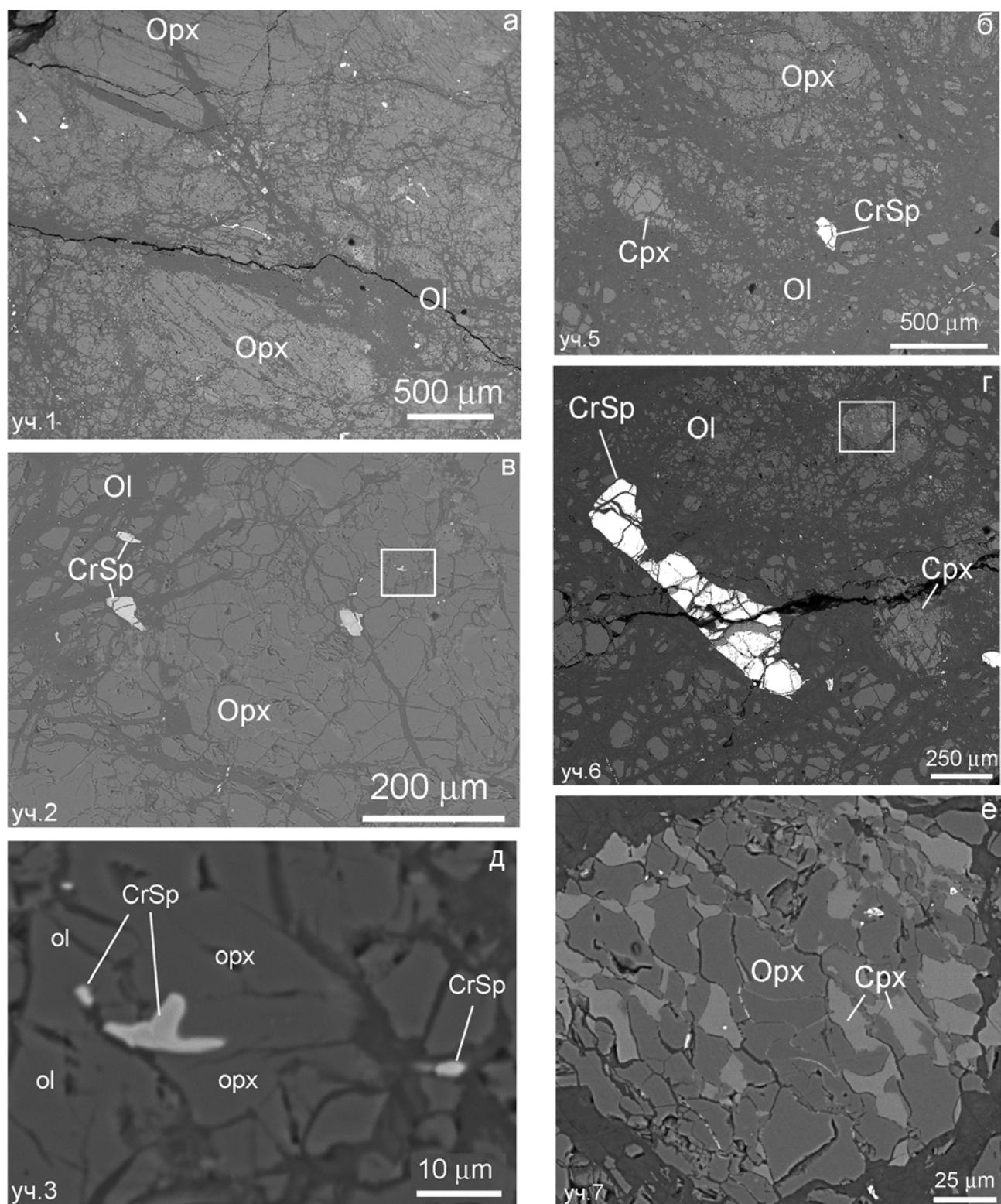


Рис. 5. Особенности микроструктуры ультрамафитов

Примечание: снимки в режиме ВСЕ.

Fig. 5. Microstructural peculiarities of ultramafic rocks

Note: BSE-images.

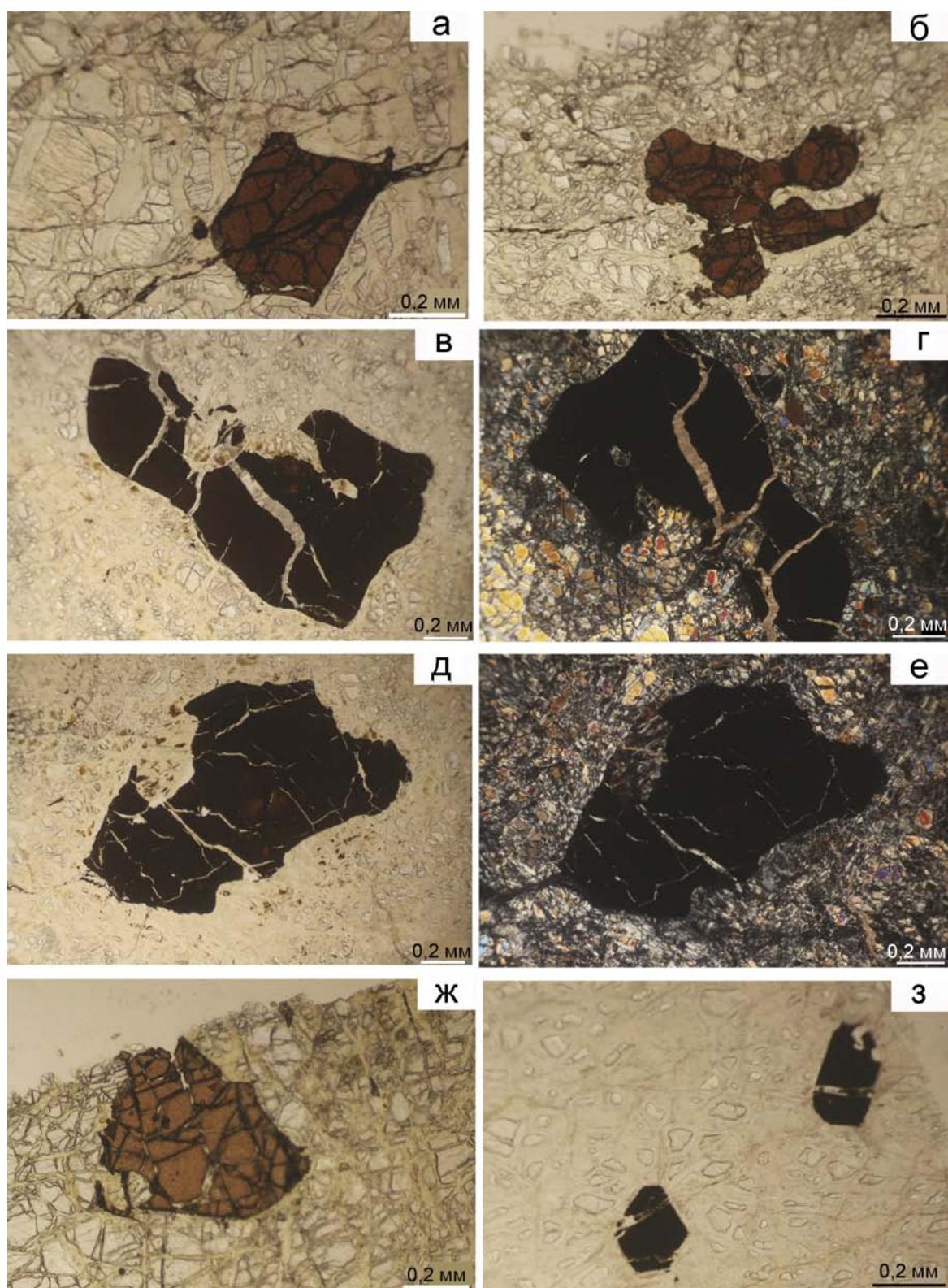


Рис. 6. Вариации форм выделения и окраски акцессорных хромшпинелидов

Примечание: снимки в плоско-поляризованном проходящем свете; г, е — николи скрещены.

Fig. 6. Morphological and color variations of accessory chromian spinels

Note: photomicrographs in the transmitted light; г, е — cross-polarized light.

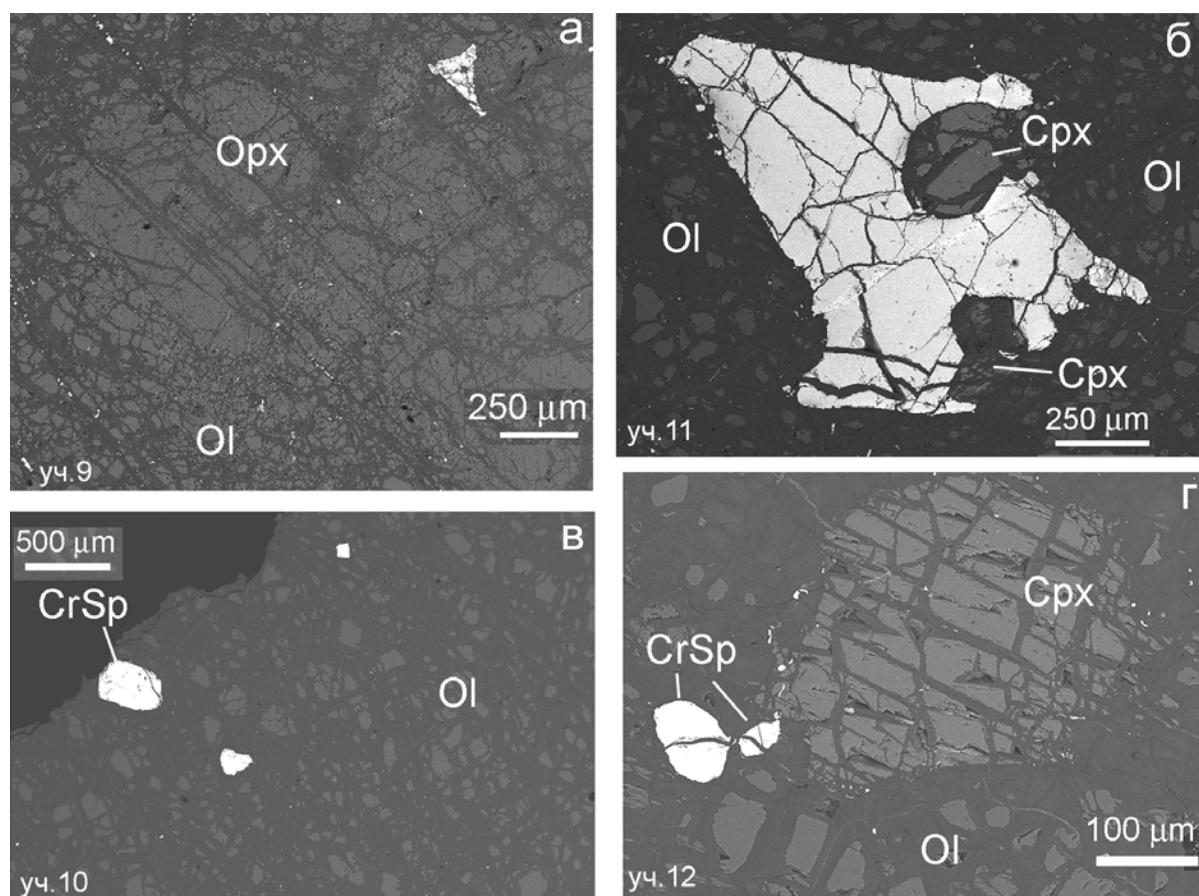


Рис. 7. Вариации форм выделения акцессорных хромшпинелидов в перидотитах и дунитах

Примечание: снимки в режиме BSE.

Fig. 7. Morphological variations of accessory chromian spinels in the peridotites and dunites

Note: BSE-images.

Оlivин по химическому составу близок к чистой магнезиальной разновидности — форстериту. Содержание данного минерала в изученных зернах составляет 90–93%. Основным примесным элементом является никель (до 0.44 мас. % NiO), в одном анализе зафиксирована значимая концентрация марганца (0.24 мас. % MnO).

Акцессорные хромшпинелиды демонстрируют значительные вариации состава по соотношению алюминия, хрома, магния и двухвалентного железа (см. табл. 4). Химический состав минералов находится в хорошем соответствии с оптическими свойствами минералов: наиболее густоокрашенные зерна обогащены хромом и железом, тогда как хорошо просвечивающие в проходящем свете шпинелиды представлены высокоглиноземистыми и магнезиальными разновидностями (рис. 6, 8).

На рисунке 8 представлены тройная диаграмма для трехвалентных катионов (Al—Cr—Fe³⁺) и би-

нарная — для двухвалентных катионов (Mg, Fe²⁺), входящих в состав хромшпинелидов. Для построения последней были определены числовые характеристики хромшпинелидов: Cr# = Cr/(Cr+Al+Fe³⁺) и Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺) в атомных количествах.

Из тройной диаграммы следует, что исследованные образцы характеризуются незначительным содержанием трехвалентного железа (<0.2 к.ф.), поскольку все фигуративные точки расположены вдоль стороны Cr—Al. Хромшпинелиды из шпинелевых перидотитов обладают повышенными содержаниями алюминия по сравнению с хромом (Cr# = 0.3–0.45), некоторый рост хромистости отмечается в минералах из образца Ук-1842 (Cr# = 0.4–0.55). В хромшпинелидах из дунита (образец УК-1832) наблюдается более высокое содержание хрома (Cr# = 0.7), минералы окрашены в густые красно-коричневые тона либо совершенно не просвечивают в проходящем свете.

Таблица 1

Table 1

Химический состав клинопироксенов (мас. %)

Chemical composition of clinopyroxenes (wt. %)

<i>№ обр.</i>	УК-1841	УК-1841	УК-1841	УК-1807	УК-1807	УК-1807	УК-1827	УК-1827	УК-1827	УК-1827	УК-1825	УК-1842	УК-1842
<i>№ анализа</i>	01/001	01/004	06/059	06/060	07/065	08/071	08/073	08/074	08/078	08/080	09/089	11/116	11/111
SiO₂	54.14	54.33	55.17	54.95	55.11	53.35	54.07	53.39	53.73	53.53	54.18	53.83	53.57
TiO₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.32	—
Al₂O₃	1.53	1.71	—	—	—	2.27	1.64	1.92	1.95	1.93	1.14	1.80	1.87
FeO	1.65	1.64	1.57	1.76	1.53	1.70	1.56	1.74	1.64	1.80	1.93	1.50	1.55
MgO	18.47	18.09	18.78	18.96	18.79	18.17	18.53	18.63	18.29	18.20	18.87	17.72	17.86
CaO	23.77	23.63	24.48	24.33	24.31	23.71	23.76	23.72	23.69	23.89	23.64	23.83	24.02
Cr₂O₃	0.44	0.59	—	—	0.26	0.80	0.44	0.59	0.69	0.66	0.24	1.00	1.12
<i>Формулярные коэффициенты</i>													
Si	1.958	1.968	1.994	1.986	1.993	1.931	1.954	1.929	1.944	1.938	1.957	1.955	1.943
Ti	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.009	—
Al	0.065	0.073	—	—	—	0.097	0.070	0.081	0.083	0.082	0.049	0.077	0.080
Fe	0.050	0.050	0.047	0.053	0.046	0.051	0.047	0.053	0.050	0.054	0.058	0.046	0.047
Mg	0.994	0.975	1.010	1.019	1.011	0.979	0.997	1.002	0.985	0.980	1.014	0.958	0.964
Ca	0.921	0.917	0.948	0.942	0.942	0.919	0.920	0.918	0.918	0.927	0.915	0.927	0.934
Cr	0.012	0.017	—	—	0.007	0.023	0.013	0.017	0.020	0.019	0.007	0.029	0.032
<i>Минералы</i>													
En	0.506	0.502	0.504	0.506	0.506	0.502	0.508	0.504	0.500	0.510	0.496	0.496	0.496
Fs	0.025	0.026	0.024	0.026	0.023	0.026	0.024	0.027	0.025	0.028	0.029	0.024	0.024
Wo	0.469	0.472	0.473	0.468	0.471	0.472	0.468	0.466	0.470	0.472	0.460	0.480	0.480

Таблица 2
Химический состав ортопироксенов (мас. %)
Chemical composition of orthopyroxenes (wt. %)

	УК- 1841	УК- 1841	УК- 1841	УК- 1841	УК- 1841	УК- 1807	УК- 1807	УК- 1825	УК- 1825	УК- 1825	УК- 1842	УК- 1842
№ образ.	01/003	01/006	01/007	02/018	03/029	05/049	07/066	09/085	09/087	09/091	09/093	09/096
№ анализа	55.54	55.76	56.33	56.69	57.12	57.08	57.15	56.34	55.66	55.65	57.34	55.79
SiO ₂	2.27	2.02	1.58	1.72	1.02	—	1.03	0.90	1.50	2.09	1.97	—
Al ₂ O ₃	5.32	5.24	5.32	5.61	5.53	5.38	5.39	6.01	5.83	5.63	5.80	6.23
FeO	0.24	—	—	—	—	—	—	—	0.28	—	—	—
MnO	35.64	35.72	35.93	36.05	36.21	37.10	36.18	36.26	35.33	35.58	35.84	36.50
MgO	0.41	0.76	0.56	0.47	0.23	0.24	0.33	0.30	0.48	0.27	0.41	0.35
CaO	0.58	0.64	0.36	0.33	0.24	—	—	—	0.34	0.28	0.49	—
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Формульные коэффициенты</i>												
Si	1.902	1.908	1.927	1.919	1.940	1.949	1.952	1.954	1.935	1.908	1.905	1.962
Al	0.091	0.081	0.064	0.069	0.041	—	0.042	0.036	0.061	0.084	0.079	—
Fe	0.152	0.146	0.150	0.152	0.160	0.158	0.154	0.154	0.172	0.167	0.161	0.166
Mn	0.007	—	—	—	—	—	—	—	0.008	—	—	—
Mg	1.817	1.819	1.829	1.834	1.844	1.884	1.841	1.845	1.806	1.815	1.826	1.859
Ca	0.015	0.028	0.020	0.017	0.008	0.009	0.012	0.011	0.018	0.010	0.015	0.013
Cr	0.016	0.017	0.010	0.009	0.006	—	—	—	0.009	0.008	0.013	—
<i>Минералы</i>												
En	0.916	0.913	0.915	0.916	0.916	0.919	0.917	0.918	0.905	0.911	0.912	0.896
Fs	0.077	0.073	0.075	0.076	0.080	0.077	0.077	0.077	0.086	0.084	0.080	0.081
Wo	0.008	0.014	0.010	0.009	0.004	0.004	0.006	0.005	0.009	0.005	0.008	0.006

Таблица 3

Table 3

Химический состав оливинов (мас. %)
Chemical composition of olivines (wt. %)

<i>№ обр</i>	УК- 1841	УК- 1841	УК- 1813	УК- 1807	УК- 1827	УК- 1827	УК- 1825	УК- 1832	УК- 1842	УК- 1842	УК- 1842	
<i>№ анализа</i>	01/005	01/009	04/033	04/036	06/058	07/068	08/072	08/081	09/090	09/095	10/010	10/010
SiO₂	40.27	40.61	40.38	40.29	40.37	40.64	40.40	40.68	40.23	40.19	40.51	40.13
FeO	7.55	7.81	7.43	7.74	7.53	7.60	7.71	8.46	8.63	7.59	7.87	6.51
MgO	51.83	51.58	51.85	51.63	51.67	51.43	51.69	51.18	50.91	50.82	51.57	51.66
MnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
NiO	0.36	—	0.34	0.35	0.44	0.40	0.31	0.42	0.40	0.36	0.33	0.35
<i>Формульные коэффициенты</i>												
Si	0.974	0.983	0.976	0.975	0.977	0.984	0.977	0.987	0.978	0.977	0.980	0.971
Fe	0.153	0.158	0.150	0.157	0.152	0.153	0.154	0.156	0.172	0.175	0.153	0.159
Mg	1.867	1.859	1.867	1.861	1.862	1.855	1.863	1.849	1.843	1.840	1.860	1.883
Mn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	0.007	—	0.007	0.007	0.009	0.008	0.006	0.008	0.008	0.007	0.007	0.006
<i>Минералы</i>												
Fo	0.924	0.922	0.926	0.922	0.924	0.924	0.922	0.922	0.915	0.913	0.924	0.921
Fa	0.076	0.078	0.074	0.078	0.076	0.076	0.076	0.078	0.085	0.087	0.076	0.079

Таблица 4
Химический состав хромшпинелидов (Мас. %)
Chemical composition of chromian spinels (wt. %)

<i>№ обр</i>	УК- 1841	УК- 1807	УК- 1827	УК- 1825	УК- 1832	УК- 1832	УК- 1842	УК- 1842	УК- 1842	УК- 1842	УК- 1842
<i>№ анализа</i>	01/002	02/012	05/039	05/040	08/069	08/070	08/083	09/084	10/097	10/098	11/107
Cr₂O₃	35.16	32.85	36.50	33.20	30.42	33.13	28.29	31.88	51.45	51.88	36.05
Al₂O₃	33.26	35.81	31.84	34.77	38.56	36.21	40.20	36.54	14.50	14.52	32.87
FeO	17.47	16.55	16.97	16.70	14.39	14.81	14.59	16.07	22.77	22.49	15.20
MgO	14.11	14.79	14.70	15.34	16.32	15.85	16.65	15.29	10.65	11.10	15.61
TiO₂	—	—	—	—	—	—	—	0.22	0.32	—	0.27
V₂O₃	—	—	—	—	0.31	—	0.27	—	0.31	—	—
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	0.47	—	—	—
Сумма	100	100	100	100	100	100	100	100.47	100	100	100
<i>Формульные коэффициенты</i>											
Cr	0.814	0.750	0.846	0.759	0.681	0.750	0.628	0.724	1.311	1.322	0.828
Al	1.148	1.219	1.100	1.184	1.286	1.222	1.331	1.236	0.551	0.552	1.126
Fe⁺³	0.044	0.043	0.044	0.065	0.021	0.022	0.042	0.043	0.121	0.044	0.067
Fe⁺²	0.379	0.351	0.367	0.331	0.317	0.331	0.296	0.338	0.479	0.471	0.321
Mg	0.616	0.636	0.642	0.661	0.688	0.676	0.697	0.654	0.511	0.533	0.676
Ti	—	—	—	—	—	—	—	0.005	0.008	—	0.006
V	—	—	—	—	—	—	—	0.008	—	—	0.006
Zn	—	—	—	—	—	—	—	0.011	—	—	—
#Cr	0.415	0.381	0.435	0.390	0.346	0.380	0.321	0.369	0.704	0.706	0.424
#Mg	0.619	0.644	0.636	0.666	0.685	0.672	0.702	0.659	0.516	0.531	0.678

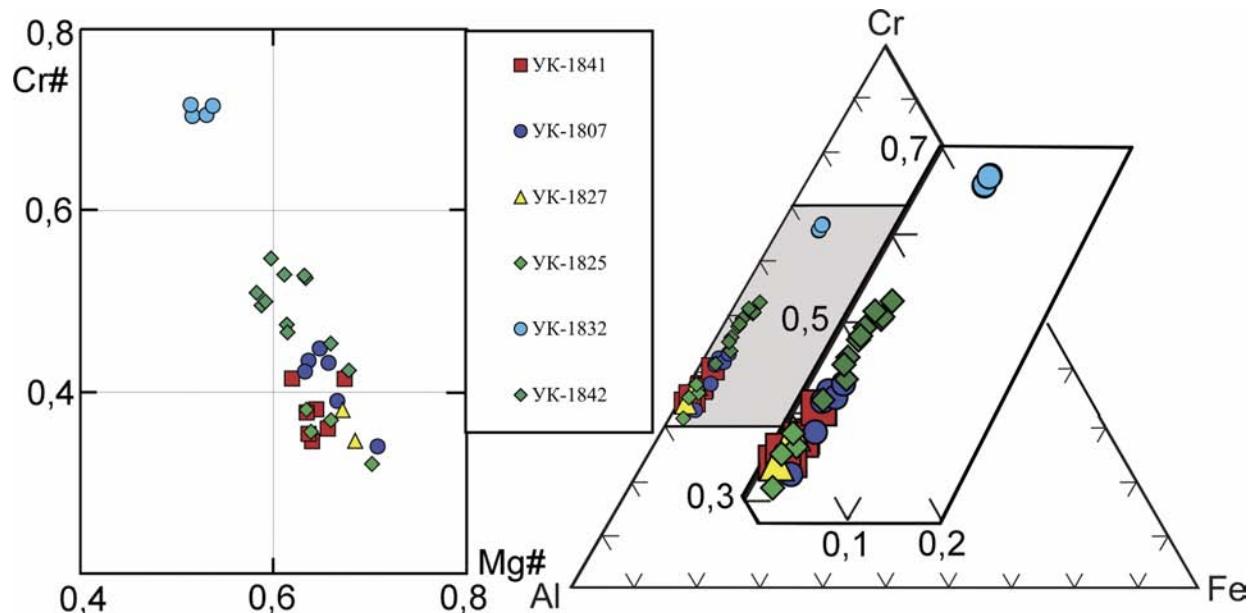


Рис. 8. Вариации состава акцессорных хромшпинелидов в перидотитах и дунитах массива Узянский Крака

Fig. 8. Compositional variations of accessory chromian spinels in the peridotites and dunites of Uzyansky Kraka massif

На тройной диаграмме проявлен четкий тренд увеличения хромистости шпинелидов от перидотитов к дунитам и незначительное увеличение в этом же направлении содержания трехвалентного железа. Наблюдается также разрыв в содержании хрома между дунитом образца УК-1832 и остальными образцами.

На бинарной диаграмме в координатах Mg# – Cr# также наблюдается отчетливый тренд уменьшения магнезиальности минералов с увеличением хромистости. Отношение концентрации железа к магнию во всех образцах меньше 1. Наиболее магнезиальными являются наиболее глиноземистые шпинелиды из перидотитов ($Mg\# = 0.7–0.8$), а наиболее железистыми — минералы с повышенной хромистостью из дунитов образца УК-1832 ($Mg\# = 0.55$).

Валовые химические составы пород приведены в табл. 5. Большая часть образцов демонстрирует высокие потери при прокаливании, что указывает на значительную степень серпентинизации ультрафиллитов. Во всех изученных образцах зафиксированы низкие концентрации щелочей и титана, содержание CaO варьирует в пределах 0.27–2.91 мас. %, оно напрямую зависит от присутствия в породах клинопироксена и минимально в дунитах. Концентрация Al_2O_3 изменяется от 0.43 до 2.7 мас. %, минимальные значения характерны для дунитов, а наиболее высокие — для лерцолитов с повы-

шенными содержаниями диопсида и высокоглиноzemистым хромшпинелидом (УК-1803, 1841, 1825, 1827). Наиболее высокое отношение MgO/SiO_2 фиксируется в дунитах образца УК-1832.

Из элементов-примесей наиболее высокие концентрации характерны для никеля (1915–2954 г/т) и хрома (1560–2959 г/т), при этом минимальные концентрации последнего фиксируются в дунитах, содержащих наиболее высокохромистые шпинелиды. Причина наблюданного несоответствия заключается, скорее всего, в весьма неравномерном распределении хромшпинелидов в породах и лишь в меньшей степени зависит от состава минералов.

Содержания кобальта на порядок ниже, чем упомянутых выше элементов (91–122 г/т), еще ниже концентрации скандия (до 54 г/т), ванадия (до 67 г/т), циркония (24–56 г/т), цинка (36–51 г/т), рубидия (до 19 г/т) и свинца (до 24 г/т). Во всех образцах содержание меди ниже предела обнаружения, в единичных пробах зафиксированы значимые концентрации иттрия (12 г/т) и стронция (82 г/т).

В четырех пробах перидотитов определены содержания редкоземельных элементов (табл. 6, рис. 9). В двух пробах дунитов и одной перидотите зафиксированы близкие содержания РЗЭ при в целом незначительном дефиците легких лантаноидов по отношению к тяжелым и близким хондритовому

Таблица 5

Химический состав ультрамафитов массива Узянский Крака

Table 5

Chemical composition of ultramafic rocks of Uzyansky Kraka massif

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ образца	Ук-1803	Ук-1807	Ук-1813	Ук-1818	Ук-1825	Ук-1827	Ук-1832	Ук-1841	Ук-1842	Ук-1849
SiO₂	39.58	37.29	36.24	38.70	36.16	38.50	34.97	40.05	35.09	36.26
TiO₂	0.077	0.056	0.021	0.037	0.042	0.031	0.021	0.098	0.032	0.042
Al₂O₃	2.46	0.63	0.43	0.73	0.76	0.70	0.49	2.70	0.55	1.51
Fe₂O_{3 общ}	7.80	6.82	8.67	5.80	8.84	5.09	7.25	7.52	6.63	7.54
MnO	0.166	0.153	0.156	0.154	0.152	0.146	0.155	0.156	0.145	0.153
MgO	39.37	43.12	41.14	46.12	40.87	46.05	44.41	35.85	47.28	42.65
CaO	1.83	0.90	0.27	0.67	0.94	0.92	0.27	2.91	0.39	0.85
Na₂O	0.20	0.10	0.10	0.54	0.21	0.20	0.10	0.20	0.20	0.21
K₂O	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	<0.01
P₂O₅	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
S_{общ}	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02
ппп	8.31	10.21	12.23	8.20	10.28	7.50	12.40	9.56	10.56	9.77
сумма	99.86	99.32	99.29	100.96	98.31	99.18	100.09	99.09	100.91	99.01
Sc	54	13	<5	26	9	19	19	16	10	23
V	67	28	<10	44	26	31	12	62	18	51
Cr	2548	2137	1859	2239	2521	2959	1560	2718	2098	2095
Co	109	116	119	105	105	98	122	91	115	104
Ni	1915	2422	2954	2377	2166	2656	2877	1931	2375	2251
Cu	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zn	51	45	41	44	45	39	47	46	43	36
Rb	9	5	13	19	12	6	<5	10	13	17
Sr	82	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Y	<10	12	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Zr	32	47	39	30	56	34	31	42	27	24
Pb	15	11	16	<10	24	23	23	18	<10	16

Примечание: содержание петрогенных оксидов дано в массовых %, а элементов-примесей в г/т (ppm).

Note: major element oxides contains are given in wt. %, minor elements contains are given in ppm.

Таблица 6

Содержание редкоземельных элементов (г/т) в ультрамафитах массива Узянский Крака

Table 6

REE concentrations (ppm) in the ultramafic rocks of Uzyansky Kraka massif

№	1	2	3	4	№	1	2	3	4
La	2.42	0.16	0.17	0.32	Tb	0.11	0.053	0.03	0.05
Ce	4.71	0.42	0.37	0.8	Dy	0.68	0.43	0.24	0.33
Pr	0.56	0.065	0.053	0.12	Ho	0.16	0.13	0.064	0.078
Nd	2.24	0.34	0.24	0.61	Er	0.43	0.45	0.22	0.23
Sm	0.58	0.12	0.075	0.2	Tm	0.064	0.089	0.044	0.037
Eu	0.14	0.033	0.088	0.087	Yb	0.37	0.64	0.31	0.23
Gd	0.7	0.26	0.16	0.31	Lu	0.06	0.14	0.065	0.04

Примечание: 1, 2 — шпинелевые перидотиты; 3, 4 — дуниты; анализы выполнены нейтронно-активационным методом в ГЕОХИ РАН и заимствованы из работы [Савельев и др., 2008].

Note: 1, 2 — spinel peridotites; 3, 4 — dunites; analyses were made by NAA method in GEOKHI RAS, after work [Saveliev et al., 2008].

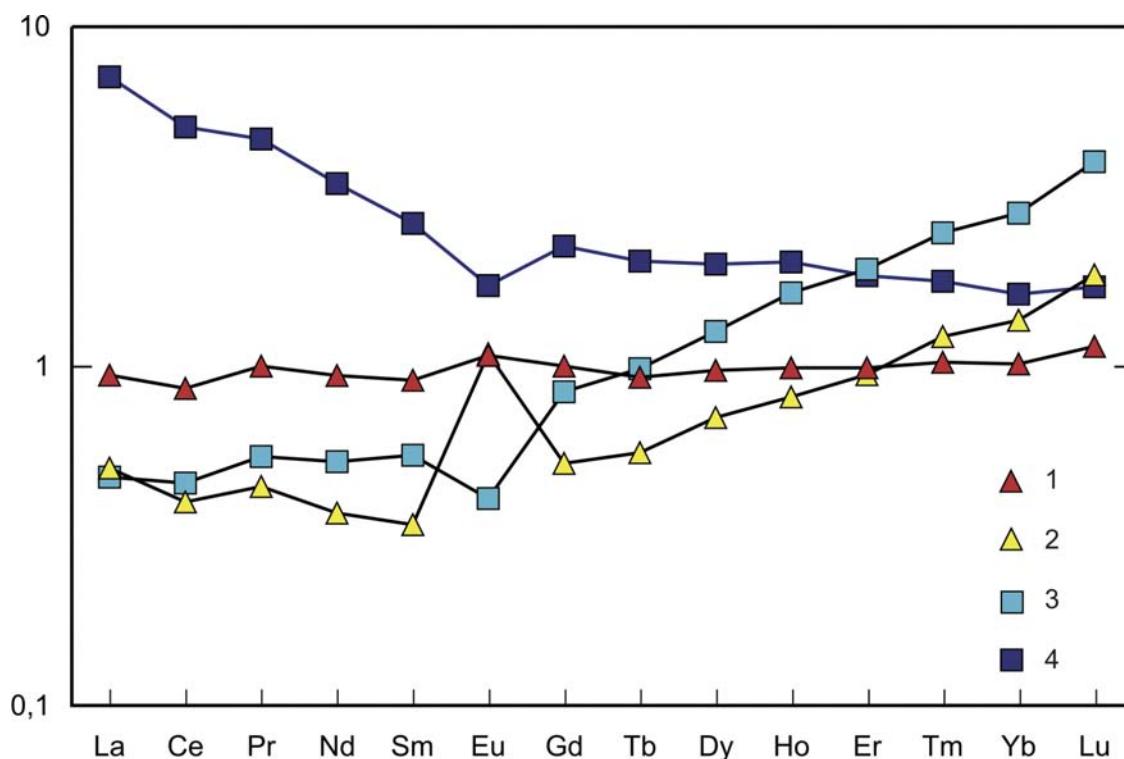


Рис. 9. Распределение редкоземельных элементов по отношению к хондриту C1 в перидотитах и дунитах массива Узянский Крака

Примечание: 1, 2 — дуниты; 3, 4 — перидотиты.

Fig. 9. Distribution of REE/chondrite C1 in the peridotites and dunites of Uzyansky Kraka massif

Note: 1, 2 — dunites; 3, 4 — peridotites.

уровне накопления всех элементов. В одной же пробе перидотита встречены значительно более высокие содержания РЗЭ с преобладанием легких элементов. Во всех четырех пробах фиксируется различное поведение европия относительно других РЗЭ — в двух случаях фиксируется отрицательная аномалия при диаметрально противоположном отношении $\text{La}_{\text{N}}/\text{Lu}_{\text{N}}$, в одном — положительная аномалия, и еще в одном — монотонное распределение. Таким образом, для более точного выяснения причин различий в геохимии лантаноидов необходимо проведение более детальных исследований.

Обсуждение результатов

Проведенные структурно-петрографические и минералого-geoхимические исследования показали, что массив Узянский Крака сложен в различной степени истощенными мантийными тектонитами перидотитового состава. Подчиненным значением на массиве пользуются дунитовые обособления,

которые чаще всего располагаются в системе полосчатости перидотитового матрикса.

На диаграмме в координатах $\text{Cr} \# (\text{Cr-Sp}) - \text{Fo(OI)}$ фигуративные точки существующих шпинелидов и оливинов изученных образцов выстраиваются в линию, направленную вдоль тренда изменения составов данных минералов в результате процесса частичного плавления (ЧП) неистощенного мантийного вещества (FMM) (рис. 10а). Наиболее высокоглиноземистые шпинелиды и наименее магнезиальные оливины характерны для лерцилитов УК-1825, 1827 и 1841, они попадают в поле рестита от 15%-ного плавления источника, более истощенными являются перидотиты УК-1807 и 1842 (20–25% ЧП). Если справедливы поля данной диаграммы, то дунит УК-1832 должен был образоваться при достижении 40%-ной степени частичного плавления.

Однако дунитовые тела на массиве часто имеют небольшую мощность и постепенные переходы к перидотитам с высокоглиноземистыми шпинелидами. Эти наблюдения позволяют усомниться

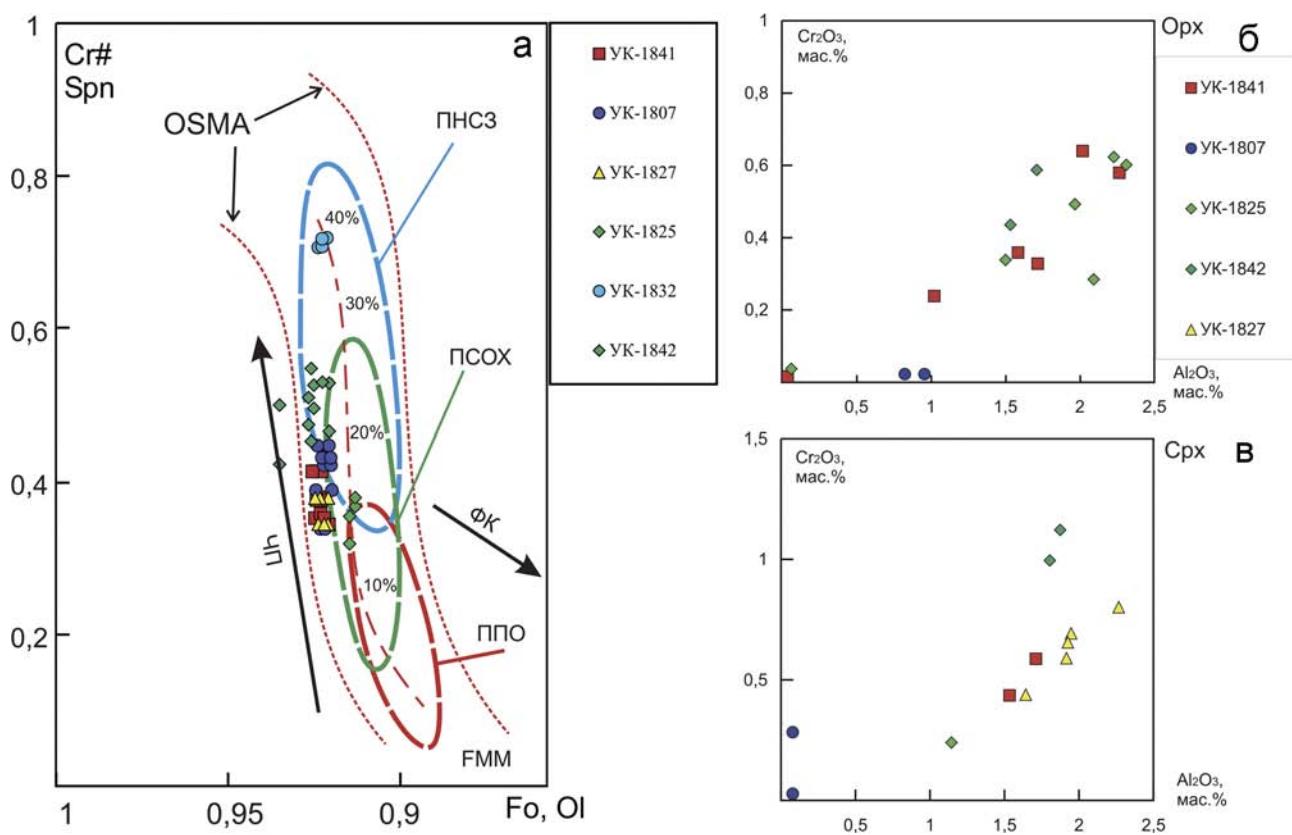


Рис. 10. Вариации состава оливина, хромшпинелидов и пироксенов в перидотитах и дунитах массива Узянский Крака

Примечание: FMM — состав исходного (фертильного) мантийного вещества; OSMA — границы поля составов хромшпинелидов мантийных ультрамафитов; ПСОХ — поле составов перидотитов срединно-океанических хребтов; ПНСЗ — поле составов океанических надсубдукционных перидотитов; ППО — перидотиты пассивных окраин; ФК — направление эволюции составов, связанной с фракционной кристаллизацией; ЧП — направление эволюции составов, связанное с частичным плавлением (показаны поля составов реститов от 10–20–40% степеней плавления); поля и тренды проведены по данным работ [Johnson, 2012; Arai, 1994; Dick, Bullen, 1984; Jacques, Green, 1980; Pearce et al., 2000].

Fig. 10. Compositional variations of olivine, chromian spinel and pyroxenes in the peridotites and dunites of Uzyansky Kraka massif

Note: FMM — fertile mantle matter; OSMA — olivine-spinel mantle array; ПСОХ — field of peridotites of Mid-Oceanic Ridges; ПНСЗ — field of oceanic supra-subduction zones peridotites; ППО — field of passive margin peridotites; ФК — trend of fractional crystallization; ЧП — trend of partial melting (compositional fields are according with 10–20–40% melting); after works [Johnson, 2012; Arai, 1994; Dick, Bullen, 1984; Jacques, Green, 1980; Pearce et al., 2000].

в однозначной интерпретации составов сосуществующих оливинов и хромшпинелидов, как результата частичного плавления. Во многих работах последних лет появление высокохромистых шпинелидов в дунитах стали связывать непременно с участием взаимодействия «расплав — мантия», происходящего в надсубдукционной обстановке [Kelemen et al., 1995; Melcher et al., 1997; Zhou et al., 1994 и др.]. Вместе с тем доказательства участия реакционных процессов в подавляющем большинстве случаев не приводятся. Кроме того, сравнивать составы шпинелидов в перидотитах SSZ либо бонинитах с таковыми в офиолитовых дунитах некорректно хотя бы потому, что это совершенно

разные породы. Как показывает структурное изучение дунитов массивов Крака [Савельев и др., 2016], их образование непосредственно связано с процессами высокотемпературного пластического течения, а не только с частичным плавлением.

На рис. 10б, в приведены диаграммы, иллюстрирующие четкую прямую зависимость между содержаниями главных примесных элементов (Al и Cr) в ромбических и моноклинных пироксенах из перидотитов, что отмечалось ранее для ультрамафитов Южного и Среднего Крака [Савельев и др., 2017]. В большинстве образцов содержания хрома и алюминия значимые, с понижением в необласти по сравнению с крупными деформированными крис-

таллами. В перидотите УК-1807 концентрация этих элементов весьма низкая, что согласуется с составом оливина и хромшпинелида, и указывает на высокую степень деплелирования данного образца.

Выводы

Изученный массив почти полностью сложен породами ряда «лерцолит – гарцбургит – дунит» и по составу сходен с типичными мантийными разрезами офиолитовых ассоциаций. Основными породообразующими минералами являются высоко-магнезиальный оливин, ромбические и моноклинные пироксены с низким содержанием железа. Все породообразующие минералы изученных ультрамафитов обнаруживают признаки пластической деформации, выраженные в разориентировке блоков первично единых кристаллов, в изгибе элементов строения кристаллов (трещины спайности и др.), в образовании кинк-бандов. Составы сосуществующих хромшпинелидов и оливинов и геохимические особенности пород свидетельствуют о том, что изученные перидотиты вероятнее всего являются реститами от умеренных степеней частичного плавления мантийного источника (15–20%). При последующей реоморфической трансформации произошло образование дунитов с хромитовой минерализацией на участках локализации пластического течения.

Исследования проведены в рамках Госзадания Минобрнауки РФ (темы №№ 0252-2017-0014, 0246-2019-0078). Электронно-микроскопические исследования минералов ультрамафитов проведены на базе ЦКП ИПСМ РАН «Структурные и физико-механические исследования материалов».

Список литературы:

Русин И.А. Гранатсодержащие парагенезисы в гипербазитах массива Крака (Южный Урал) // Ежегодник–2001.– Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2002. – С. 134–137.

Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Блинов И.А., Кожевников Д.А., Котляров В.А. Петрологические свидетельства синдеформационной сегрегации вещества при формировании дунитов (на примере офиолитов Крака, Южный Урал) // Минералогия. – 2016. – № 4. – С. 56–77.

Савельев Д.Е., Пучков В.Н., Сергеев С.Н., Мусабиров И.И. О деформационно-индуцированном распаде энстатита в мантийных перидотитах и его значении для процессов частичного плавления и хромитообразования // Докл. РАН. – 2017. – Т. 276, № 2. – С. 200–204. – DOI: 10.7868/S0869565217260176.

Савельев Д.Е., Сначев В.И., Савельева Е.Н., Бажин Е.А. Геология, петрогохимия и хромитоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2008. – 320 с.

Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. – М.: Наука, 1987. – 230 с.

Чашухин И.С., Вотяков С.Л., Шапова Ю.В. Кристаллохимия хромшпинели и окситермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. – Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007. – 310 с.

Arai S. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // Chemical Geology. – 1994. – V. 113. – P. 191–204. – doi.org/10.1016/0009-2541(94)90066-3.

Dick H.J., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1984. – V. 86. – P. 54–76. – doi.org/10.1007/bf00373711.

Jacques J.L., Green D.H. Anhydrous melting of peridotites at 0–15 kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1980. – V. 73. – P. 287–310. – doi.org/10.1007/bf00381447.

Johnson C. Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan: Ph.D. thesis. – Cardiff University, 2012. – 468 p.

Kelemen P.B., Shimizu N., Salters V.J.M. Extraction of mid-ocean-ridge basalt from the upwelling mantle by focused flow of melt in dunite channels // Nature. – 1995. – V. 375. – P. 747–753. – doi.org/10.1038/375747a0.

Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpf E.F. Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite // Journal of Petrology. – 1997. – V. 38. – P. 1419–1458. – doi.org/10.1093/petrology/38.10.1419.

Pearce J., Barker P.F., Edwards S.J., Parkinson I.J., Leat P.T. Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc-basin system, South Atlantic // Contribution to Mineralogy and Petrology. – 2000. – V. 139. – P. 36–53. – doi.org/10.1007/s004100050572.

Zhou M.F., Robinson P.T., Bai W.J. Formation of podiform chromites by melt / rock interaction in the upper mantle / Mineralium Deposita. – 1994. – V. 29. – P. 98–101. – doi.org/10.1007/bf03326400.

References:

Arai S. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // Chemical Geology. 1994. V. 113. P. 191–204. doi.org/10.1016/0009-2541(94)90066-3.

Chashchukhin I.S., Votyakov S.L., Shchapova Yu.V. Kristal-lokhimiya khromshpineli i oksi-termobarometriya ultramafitov skladchatykh oblastey [Crystal chemistry of chrome spinel and oxithermobarometry of ultramafites of fold belts]. Yekaterinburg: IG&G UrB RAS, 2007. 310 p. (in Russian).

Dick H.J., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1984. V. 86. P. 54–76. doi.org/10.1007/bf00373711.

Jacques, J.L., Green D.H. Anhydrous melting of peridotites at 0–15 kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts // Contributions to Mineralogy and Petrology. 1980. V. 73. P. 287–310. doi.org/10.1007/bf00381447.

- Johnson C.* Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan: Ph. D. thesis. Cardiff University, 2012. 468 p.
- Kelemen P.B., Shimizu N., Salters V.J.M.* Extraction of mid-ocean-ridge basalt from the upwelling mantle by focused flow of melt in dunite channels // Nature. 1995. V. 375. P. 747–753. doi.org/10.1038/375747a0.
- Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpf E.F.* Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite // Journal of Petrology. 1997. V. 38. P. 1419–1458. doi.org/10.1093/petrology/38.10.1419.
- Pearce J., Barker P.F., Edwards S.J., Parkinson I.J., Leat P.T.* Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc-basin system, South Atlantic // Contribution to Mineralogy and Petrology. 2000. V. 139. P. 36–53. doi.org/10.1007/s004100050572.
- Rusin I.A.* Granat-soderzhatchie associazii v giperbasitakh massiva Kraka (Yuzhny Ural) [Garnet-bearing assemblages in the gyperbasites of Kraka massif (the Southern Urals)] // Ezhegodnik—2001. Ekaterinburg: IGG UrB RAS, 2002. P. 134–137 (in Russian).
- Saveliev D.E., Belogub E.V., Blinov I.A., Kozhevnikov D.A., Kotlyarov V.A.* Petrologicheskie svidetel'stva sindeformacionnoy segregazii vetchestva pri obrazovanii dunitov [Petrological evidences of syndeformation segregation of matter during a dunite formation (on the example Kraka ophiolites, the Southern Urals)] // Mineralogiya [Mineralogy]. 2016. V. 4. P. 56–77 (in Russian).
- Saveliev D.E., Puchkov V.N., Sergeev S.N., Musabirov I.I.* Deformation-induced decomposition of enstatite in mantle peridotite and its role in partial melting and chromite ore formation // Doklady Earth Sciences. 2017. V. 476, No. 1. P. 1058–1061. DOI: 10.1134/S1028334X17090161.
- Saveliev D.E., Snachev V.I., Savelieva E.N., Bazhin E.A.* Geologiya, petrogeokhimiya i khromitonosnost' gabbro-giperbazitovykh massivov Yuzhnogo Urala. [Geology, petrogeochemistry, and chromite content of gabbro-hyperbasic massifs of the South Urals]. Ufa: DizaynPoligrafServis, 2008. 320 p. (in Russian).
- Savelieva G.N.* Gabbro-ultrabazitovye kompleksy ofiolitov Urala i ikh analogi v sovremennoy okeanicheskoy kore [Gabbro-ultrabasical complexes of the Urals ophiolites and their analogues in the present-day oceanic crust]. Moscow: Nauka, 1987. 230 p. (in Russian).
- Zhou M.F., Robinson P.T., Bai W.J.* Formation of podiform chromites by melt/rock interaction in the upper mantle // Mineralium Deposita. 1994. V. 29. P. 98–101. doi.org/10.1007/bf03326400.

Сведения об авторах:

Савельев Дмитрий Евгеньевич, доктор геол.-мин. наук, профессор АНРБ, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: savl71@mail.ru

Нугуманова Язгуль Наилевна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: jazgul-ice@yandex.ru

Гатауллин Руслан Азатович, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: RusRusu4@yandex.ru

Сергеев Семен Николаевич, Федеральное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов РАН (ИПСМ РАН), г. Уфа. E-mail: semen@imsp.ru

About the autor:

Saveliev Dmitry Egenievich, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: savl71@mail.ru

Nugumanova Yazgul Nailevna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: jazgul-ice@yandex.ru

Gataullin Ruslan Azatovich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: RusRusu4@yandex.ru

Sergeev Semen Nikolaevich, Institute for Metals Superplasticity Problems RAS (IMSP RAS), Ufa. E-mail: semen@imsp.ru

К ВОПРОСУ О ПЕТРОГЕНЕЗИСЕ ПИКРИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ БАШКИРСКОГО МЕГАНТИКЛИНОРИЯ

© 2018 г. С. Г. Ковалев, С. И. Высоцкий, С. С. Ковалев

Реферат. В работе приводятся новые данные об условиях формирования магматических пород западного склона Южного Урала и прилегающей части Восточно-Европейской платформы. На основе расчетов P - T параметров плавления мантийного субстрата показано, что при реализации пломового процесса образуются однотипные породы (пикриты и пикродолериты), генезис которых принципиально различен. Первый тип является результатом кристаллизации недифференцированного мантийного расплава в верхних горизонтах коры, второй — образуется в результате дифференциации в крупных внутрикоровых магматических камерах/очагах.

Ключевые слова: плом, магматический расплав, P - T параметры, пикриты, пикродолериты, западный склон Южного Урала, дифференциация, оливин-пироксеновый геотермометр, средний рифей

ON THE PETROGENESIS OF PICRITE COMPLEXES IN THE BASHKIRIAN MEGANTICLINORIUM

S. G. Kovalev, S. I. Vysotsky, S. S. Kovalev

Abstract. The paper presents new data on the conditions of formation of igneous rocks in the western slope of the Southern Urals and the adjacent part of the East European platform. Calculations of P - T mantle melting parameters show that the implementation of plume process results in formation of one-type rocks (picrites and picrodolerites), but their genesis may be fundamentally different. One kind is the result of crystallization of undifferentiated mantle melt in the upper layers of the crust, while the other is formed by differentiation in large intracrustal magma chambers.

Keywords: plume, magmatic melt, P - T parameters of picrites, picrodolerites, the western slope of the Southern Urals, differentiation, olivine, pyroxene geothermometer, Middle Riphean

Введение

Представление о том, что формирование крупных магматических провинций (LIPs) связано с пломами/суперпломами, распространено в настоящее время достаточно широко и подтверждается многочисленными фактами и наблюдениями [Добрецов и др., 2010; Puchkov et al., 2013; Пучков, Ковалев, 2013; Ernst, 2014]. Вместе с тем проблема разнообразия формационно-генетических типов магматических пород, формирующихся в верхних горизонтах континентальной коры, остается недостаточно изученной.

В рифейской истории западного склона Южного Урала среднерифейский этап является временем с максимальным развитием магматизма на обширной территории преимущественно в интрузивной форме с повышенной основностью пород (пикриты, пикродолериты, дайки меланократовых габбро-долеритов). Кроме того, ранее было показано, что «машакское магматическое событие» в виде вулканитов, дайковых роев и глубинных интрузий распространялось далеко за пределы Башкирского мегантиклиниория (Восточно-Европейская платформа, Тиман, Гренландия, Сибирский кратон) и представляет собой событие субглобального

Для цитирования: Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. К вопросу о петрогенезисе пикритовых комплексов Башкирского мегантиклиниория // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 98–108. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-7>.

For citation: Kovalev S.G., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. On the petrogenesis of picrite complexes in the Bashkirian meganticlinorium//Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P.98–108. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-7>.

масштаба, свидетельствующее о его плюмовой/суперплюмовой природе [Пучков, Ковалев, 2013]. На сегодняшний день к среднему рифею в пределах региона относятся долериты Главной Бакальской дайки, Повальненский и Кургасский габбро-долеритовые комплексы, Лапыштинский и Ишлинский пикрит-долеритовый и пикритовый комплексы, Машакский и Шатакский пикрит-базальт-риолитовые комплексы, Кусинско-Копанский расслоенный пироксенит-габбровый комплекс, отдельные дайковые и пластовые тела интрузивных габбро-долеритов и пикритов, вскрытых скважинами на востоке Восточно-Европейской платформы, а также Бердяушский plutон гранитов рапакиви, Ахмеровский гранитный комплекс, Авашлинский комплекс высококалиевых и титанистых меланократовых сиенитов и сложно построенный трахи-

андезит-базальт-сиенит-карбонатитовый комплекс «Сибирка» (рис. 1).

Методы исследования минералов

Изучение минералов Ишлинских и Шатакских пикритов проводилось на растровом электронном микроскопе РЭММ-202М с EDA в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс). Порог обнаружения в зависимости от элемента составляет от 0.1 до 0.3 мас. %.

Изучение поронообразующих минералов по скв. № 7 проводилось в лаборатории локальных методов исследования вещества Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова на кафедре петрологии на растровом (сканирующем) электронном микроскопе (РЭМ) Jeol JSM-6480LV

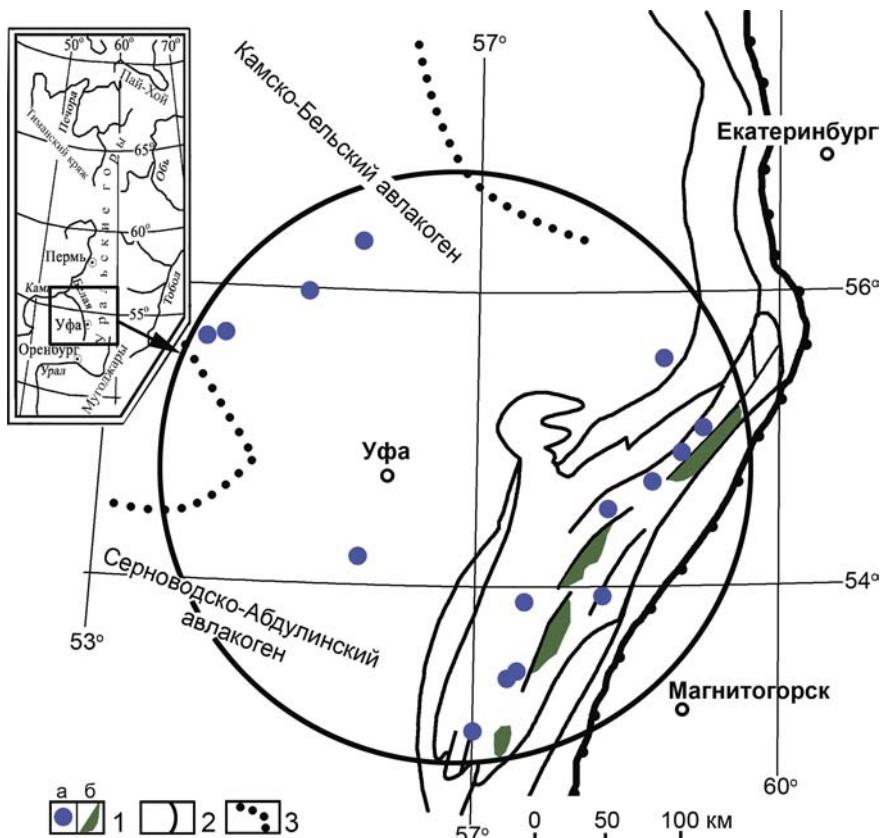


Рис. 1. Схема распространения магматических пород среднерифейского возраста в пределах западного склона Южного Урала и прилегающей части Восточно-Европейской платформы [Ковалев и др., 2017]

Условные обозначения: 1 — магматические породы (а — интрузивные, б — эфузивные); 2 — условные границы области распространения среднерифейского магматизма; 3 — границы авлакогенов.

Fig. 1. The development of magmatic rocks of the Middle Riphean age within the western slope of the Southern Ural and the adjacent part of the East European platform. By [Kovalev et al., 2017]

Legend: 1 — igneous rocks (a — intrusive, б — effusive); 2 — conditional boundaries of the area of distribution of Middle Riphean magmatism; 3 — boundaries of aulacogenes.

с энергодисперсионным анализатором INCA-Energy 350. Минимальная идентифицируемая концентрация (порог обнаружения) в зависимости от элемента составляет от 0.12 до 0.3 мас. %.

Для проверки корректности содержаний Ca в оливинах были использованы данные по Ишлинскому комплексу [Носова и др., 2012], полученные с помощью микроанализатора CAMEBAX-SX100 фирмы Cameca в ГЕОХИ РАН (г. Москва). Порог обнаружения элемента 0.02 мас. %, погрешность измерения ± 20 отн. %.

Геология пикритовых комплексов

Согласно современным представлениям, все разнообразие, в первую очередь, пород основного состава можно объяснить степенью плавления мантийного субстрата при вариациях P - T параметров среды магмообразования. При этом, как правило, для одновозрастных пространственно сближенных комплексов различной формационной природы (пикриты, габбро, долериты и др.) рассчитываются свои параметры очагов магмо-генерации, что, по нашему мнению, нецелесообразно. В данной работе формирование различных формационно-генетических типов пород при развитии «плюмового события» рассматривается как единый процесс, обусловленный плавлением мантийного вещества и его взаимодействием с субстратом коры. В качестве объектов исследования рассмотрены пикритовые и пикродолеритовые породы среднерифейского возраста, входящие в состав Ишлинского пикритового, Шатакского пикрит-риолит-базальтового комплексов и Кусинско-Копанского расслоенного гранит-пироксенит-габбрового комплекса, представленного оливиновыми габбро (пикритами), вскрытыми скв. № 7.

Ишлинский пикритовый комплекс, относимый ранее к плагиоклазовым перидотитам палеозойского возраста, представлен тремя разобщенными выходами («Курманайская дайка», Ишлинские пикриты и пикриты руч. Интурат), протягивающиеся в субмеридиональном направлении более чем на 8–10 км. Для пород характерны порфировидные, неравномернозернистые, часто пойкилитовые, близкие к кумулятивным структурам (рис. 2 а–г) с идиоморфными и субдиоморфными кристаллами оливина (20–50 об. %) и пироксенов (40–50 об. %), «сцепментированные» ксеноморфными и субдиоморфными кристаллами основного пла-гиоклаза. Размер зерен темноцветных минералов меняется от 2.0–2.5 мм до сотых долей мм.

Порфировидные вкрапленники оливина пикритов представлены субдиоморфными и ксеноморфными кристаллами с размерами 0.2–2 мм. Ксеноморфные зерна вытянуты, имеют неправильные заливообразные либо угловатые и изометричные очертания. Кристаллы оливина зональны, их магнезиальность уменьшается от центральных частей к краям зерен. По величинам Mg# ($Mg\# = Mg/(Mg+FeO)$) выделяются 3 группы кристаллов со средними значениями этого параметра: 0.90, 0.86, 0.81, при максимальном и минимальном значениях – 0.91 и 0.78 соответственно.

Порфировидные зерна клино- и ортопироксенов часто образуют срастания и совместно нарастают на кристаллы оливина. Клинопироксены обладают концентрической зональностью, нередко в них наблюдаются структуры распада. Кроме кристаллов-вкрапленников, пироксены присутствуют в основной массе в виде мелких (доли мм) ксеноморфных образований, заполняя промежутки между длиннопризматическими зернами пла-гиоклаза.

Среднее значение параметра Mg# для вкрапленников клинопироксена равно 0.84 при колебаниях от 0.81 до 0.85. Средняя магнезиальность пироксенов основной массы равна 0.76.

В качестве второстепенных минералов в породах присутствуют высокомагнезиальный биотит и коричневая роговая обманка. Аксессорные минералы — апатит, ильменит, магнетит, хромшипелид.

Отнесение пород комплекса к среднему рифею основано на определении возраста Sm-Nd по трем валовым пробам и трем монофракциям пироксенов из них, которое показало цифру 1270 ± 56 млн лет (CKBO = 1.11), а аппроксимация точек (валовая пробы, клинопироксен, ортопироксен) одного образца дала изохрону с наклоном, отвечающим $T = 1291 \pm 67$ млн лет (CKBO = 0.66) [Сазонова и др., 2011; Носова и др., 2012].

Магматические породы *Шатакского комплекса* представлены пикритами, базальтами и риолитами. Пикриты образуют пластовую интрузию, расположенную в основании машакской свиты на ее непосредственной границе с подстилающими отложениями юшинской свиты (RF_1) [Ковалев и др., 2013]. Макроскопически породы сложены зеленовато-серыми, темно-зелеными среднезернистыми амфиболизированными разновидностями, имеющими массивную текстуру и видимую мощность около 25–30 м. Детальное изучение позволило выделить в строении интрузии три зоны:

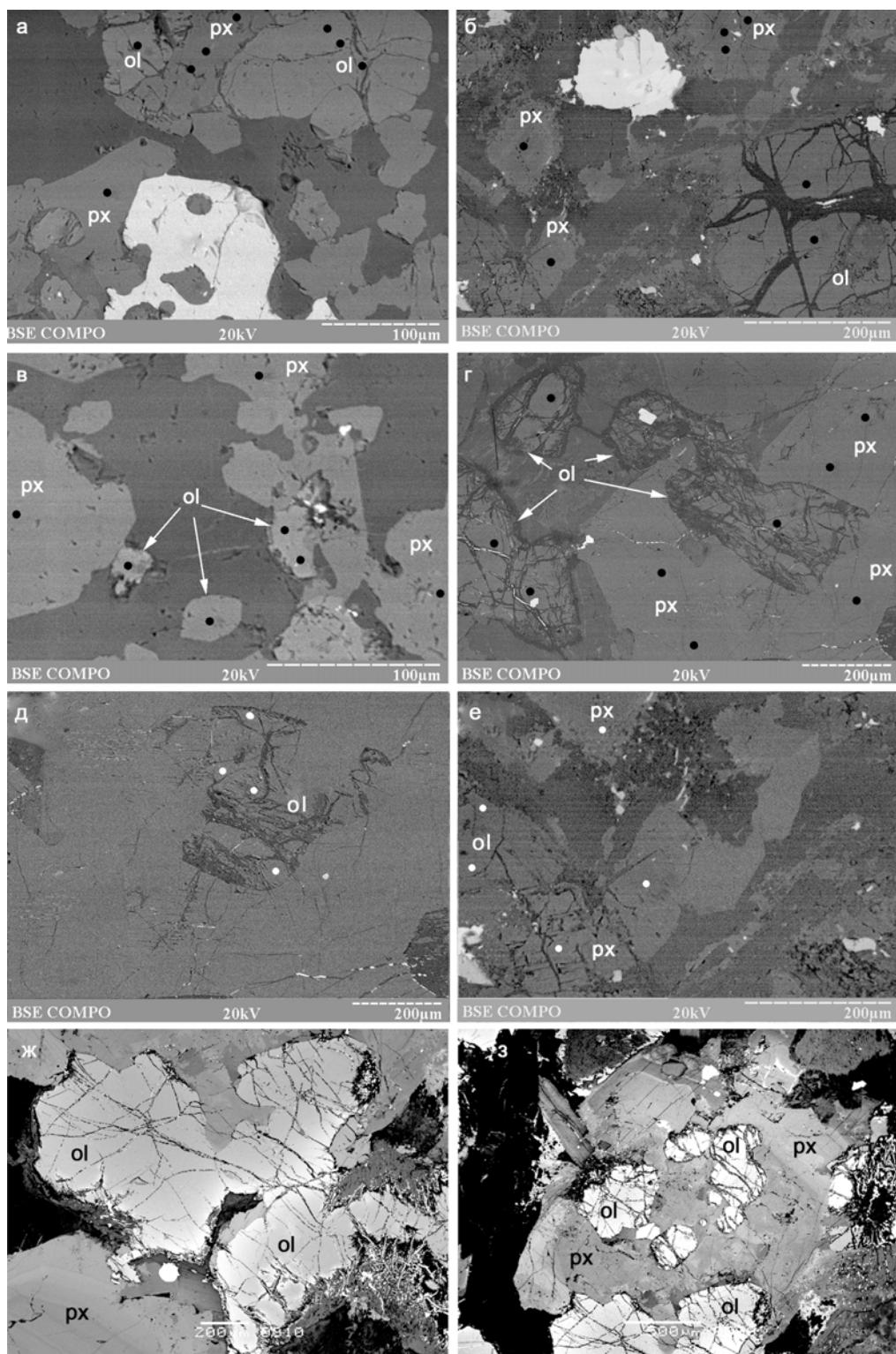


Рис. 2. Микрофотографии морфологии кристаллов оливина и клинопироксена в Ишлинских пикритеах (а, б), пикритеах «Курманайской дайки» (в, г), пикритеах Шатакского комплекса (д, е) и породах скв. № 7 (ж, з)
Примечание: ol — оливин; px — клинопироксен.

Fig. 2. Microphotographs of the morphology of olivine and clinopyroxene crystals in the Ishlya picrites (a, b), picrites of the Kurmanai dike (v, g), picrites of the Shatak complex (d, e) and borehole rocks No. 7 (ж, з)

Notes: ol — olivine; px — clinopyroxene.

нижнюю эндоконтактовую, центральную и верхнюю эндоконтактовую. Породы верхней эндоконтактовой зоны — метадолериты с микроофитовой и микродолеритовой структурой. Центральная часть интрузии сложена пикритами, первичными минералами которых являлись оливин, клинопироксен, ортопироксен и роговая обманка. Породы сильно изменены и практически полностью превращены в тальк-амфибол-серпентиновый агрегат. Магнезиальность оливина из этого горизонта, определенная по редким реликтам (см. рис. 2д, е), варьирует в пределах $\#Mg = 0.56\text{--}0.57$. Клинопироксен, так же как и оливин, в значительной степени изменен вторичными процессами. Его магнезиальность довольно стабильна и составляет 0.63–0.64. Нижний горизонт представлен интенсивно измененными пикродолеритами. Из первичных минералов по псевдоморфозам и неизмененным участкам в центральных частях обособлений устанавливаются клинопироксен и плагиоклаз. Вторичные минералы — амфибол, лейкоксен, хлорит, серпентин, альбит, карбонат, апатит, тальк и серицит. Датирование магматических пород Шатакского комплекса методом CA-TIMS (CA-ID-TIMS) по 4 зернам циркона из метабазальтов дало средневзвешенную $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ цифру 1381.5 ± 1.0 млн лет ($MSWD = 1.0$) и $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ датировку 1380.3 ± 0.4 млн лет ($MSWD = 1.1$) [Пучков, 2010]. Дальнейшие исследования подтвердили возраст машакского комплекса в пределах 1380–1385 млн лет [Puchkov et al., 2013].

Кусинско-Копанский расслоенный комплекс с титан-железо-ванадиевым оруднением является одной из наиболее известных и относительно хорошо изученных ассоциаций интрузивных пород Башкирского мегантиклиория. В настоящее время Кусинско-Копанский комплекс рассматривается как типичная платформенная стратиформная интрузия, комагматичная ранне-среднерифейской риолит-базальтовой формации, или как представитель перидотит-пироксенит-норитовой формации расслоенных интрузий [Алексеев и др., 2000]. Тела комплекса приурочены к Юрзано-Зюраткульскому разлому и имеют согласное залегание с вмещающими отложениями. Массивы комплекса имеют неоднородное внутреннее строение. Характерная их особенность — полосчатость, стратифицированность, заключающаяся в чередовании в разрезе «слоев» базитов переменной мощности (обычно первые десятки м), различного состава, зернистости, структуры и текстуры. Полосчатое строение массивов подчеркивается переменным содержанием

рудных минералов в породах и наличием согласных с общей полосчатостью пластов вкрашенных и сплошных титаномагнетитовых руд. Полосы базитов разного состава и рудные пласти хорошо прослеживаются по простиранию и падению, подчеркивая псевдостратифицированное, расслоенное строение массивов. Среднерифейский возраст комплекса определяется как геологическими, так и радиогеохронологическими данными. В последнее время многочисленными методами (Rb-Sr, Sm-Nd, U-Pb) был установлен единый возраст (1385–1395 млн лет) формирования пород (габброидов и гранитоидов) и массивных руд Кусинско-Копанского комплекса [Холоднов и др., 2012]. В 1991–1992 гг. при проведении съемочных работ сотрудниками Саткинской партии Челябинской ГРЭ пробурена скважина № 7 в 1.5–2 км к западу от Копанского массива в полосе развития известняков саткинской свиты (RF_1). Разрез, вскрытый скважиной, представлен следующими породами [Ковалев и др., 1995]: в интервале 0–38.3 м — известняки; 38.3–101.7 м — габброиды различного состава. Эндоконтактовые породы сложены оливинсодержащими амфиболизированными пироксенитами либо мелкозернистыми меланогаббро. Ниже зафиксирован горизонт такситовых габбро, который сменяется оливиновыми габбро (пикритами) с 10–20% оливина, причем сверху вниз по разрезу количество его заметно увеличивается. Оливин встречается в виде корродированных округлых или неправильной формы включений в клинопироксene либо в виде субдиоморфных кристаллов разных размеров (см. рис. 2ж, з). По составу оливины делятся на две группы со средней магнезиальностью ядер и краев: $\#Mg = 0.80\text{--}0.71$ и $\#Mg = 0.73\text{--}0.66$ соответственно. Клинопироксен представлен субдиоморфными изометричными зернами с размерами 1–3 мм в поперечнике, часто образующими гломерокристаллические агрегаты. Его зерна зональны, причем зональность может быть не только прямой (с уменьшением Mg# от ядер к краевым зонам), но и обратной. По характеру зональности выделяются минералы двух типов. К I типу отнесен клинопироксен с прямой зональностью, обладающий высокомагнезиальными ядрами (средняя Mg# 0.83, максимальная — 0.84) и более железистыми краевыми зонами (средняя Mg# 0.76, минимальная — 0.75). Клинопироксен II типа имеет железистые ядра (средняя Mg# 0.77), на которые нарастают зоны с высокой магнезиальностью (среднее 0.82, при колебаниях 0.83–0.82). Нами эти породы отождествляются с эндокон-

тактовой зоной и частью разреза невскрытых горизонтов Кусинско-Копанского массива, в структурном отношении являющейся апофизой массива [Ковалев и др., 1995].

Оценка Р-Т условий формирования расплавов

Для выяснения условий генерации расплавов, сформировавших пикритовые и пикродолеритовые комплексы, были выполнены расчеты температур формирования минеральных парагенезисов по оливин-клинопироксеновому (*Ol-Cpx*) геотермометру:

$$\ln K_{D\ Fe/Mg}^{Ol/Aug} - 78.025 = \frac{-5945.96}{T} - 10.1327 \ln T$$

(при точности $\sigma T = \pm 6.1^\circ\text{C}$) [Loucks, 1996].

Путем подстановки в формулу

$$T_{Ca-Ol} (\text{ }^\circ\text{C}) = \frac{10539 + 79.8P}{15.45 - \ln Ca^{Ol}} - 273,$$

предложенную в работе [De Hoog et al., 2010], температур, рассчитанных по *Ol-Cpx* геотермометру, было определено давление, при котором сформировались минеральные ассоциации пикритовых и пикродолеритовых комплексов. Для проверки корректности полученных результатов были произведены расчеты температуры кристаллизации оливина по содержанию в нем кальция. Для анализа использовались только те данные, температуры которых, рассчитанные по *Ol-Cpx* геотермометру и по содержанию кальция в оливине, различались не более чем на 5°C . В данной работе приводятся усредненные значения по составам оливина и клинопироксена (табл.).

Согласно полученным материалам, максимальные Р-Т условия установлены для средних составов центральных частей порфировидных кристаллов оливина и центральных частей клинопироксена из окружения оливина Ишлинского комплекса ($T = 1197\text{--}1283^\circ\text{C}$, $P = 23\text{--}36$ кбар). Для аналогичных ассоциаций из пород «Курманайской дайки» Р-Т параметры варьируют в пределах $T = 1223^\circ\text{C}$, $P = 19$ кбар. В ассоциациях «краевые части кристаллов оливина — краевые части кристаллов клинопироксена» температуры снижаются до $1047\text{--}1075^\circ\text{C}$, давление до $12\text{--}15$ кбар для ишлинских пикритов и до $T = 1047^\circ\text{C}$, $P = 5$ кбар для пикритов «Курманайской дайки». При этом, как видно из рис. 3 а, точки рассчитанных параметров образуют единый тренд, характеризующий процесс зарождения, эволюции и кристаллизации расплава

при формировании интрузивного тела. Сюда же (в «область магмогенерации») попадают и точки, рассчитанные по анализам «центральные части оливина — центральные части клинопироксена», заимствованные из работы А.А. Носовой с соавторами [2012] по пикритам Ишлинского тела (см. рис. 3 а).

Принципиально иная картина характерна для минералов пикритов, входящих в состав Шатакской вулкано-плутонической ассоциации ($T = 1103^\circ\text{C}$, $P = 10$ кбар, для центральных частей кристаллов оливина и клинопироксена и $T = 1039\text{--}1097^\circ\text{C}$, $P = 1\text{--}5$ кбар — для краевых частей) и интрузивного расслоенного Кусинско-Копанского комплекса, представленного породами скв. № 7 ($T = 1045^\circ\text{C}$, $P = 9$ кбар, для центральных частей кристаллов оливина и клинопироксена и $T = 1016\text{--}1097^\circ\text{C}$, $P = 1\text{--}3$ кбар — для краевых частей) (см. табл.). При этом Р-Т параметры для пород скв. № 7 оказываются близки к полученным ранее данным В.В. Холоднова с соавторами для габброидов Копанского-Маткальского ($T = 900\text{--}1100^\circ\text{C}$; $P = 1\text{--}3$ кбар) и Кусинского-Медведевского массивов ($T = 600\text{--}900^\circ\text{C}$; $P = 5\text{--}7$ кбар) [Холоднов и др., 2012]. По нашему мнению, данные различия носят принципиальный характер и свидетельствуют о различных механизмах формирования однотипных пород при реализации плюмового процесса и обусловленного им рифтогенеза.

В обобщенном виде модель формирования магматических комплексов Башкирского мегантиклинория может быть представлена в следующем виде. Поступление недифференцированного мантийного вещества при подъеме плюма и начинающийся рифтогенный процесс активного типа приводят к внедрению расплава в верхние горизонты коры (рис. 4). Особенности структурно-тектонического строения надплюмовой литосферы, а также реологические и физико-механические характеристики слагающих ее комплексов являются во многом определяющими для формирования различных формационно-генетических типов магматических пород. В частности, в «среднерифейское время» на западном склоне Южного Урала и прилегающей части Восточно-Европейской платформы внедрение недифференцированного мантийного вещества привело к формированию дайково-пластовых тел, сформировавших малые дифференцированные и расслоенные интрузии, разнообразие которых было описано ранее [Алексеев и др., 2003], и крупных внутрикоровых магматических камер/очагов (см. рис. 4).

Таблица

Средние составы оливинов и клинопироксенов и расчетные P - T параметры для пикритовых и пикродолеритовых комплексов западного склона Южного Урала

Table

Average compositions of olivines and clinopyroxenes and calculated P - T parameters for picritic and picrodolerite complexes of the western slope of the Southern Urals

№ п/п	№ обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	T, °C	P, кбар
1	s_ish_2.ol (2)	40.21				15.90	0.28	42.75	0.27		1283	23
	s_ish_2.px (5)	49.64	1.50	4.16	0.11	10.22	0.10	14.98	18.59	0.60		
2	s_ish_3.ol (4)	39.74				19.75	0.03	39.75	0.08		1197	36
	s_ish_3.px (4)	52.21	0.22	4.15	0.53	7.03	0.14	17.7	17.43	0.11		
3	s_ish_4.ol (3)	39.70				18.45	0.10	41.03	0.15		1075	12
	s_ish_4.px (5)	53.21	0.03	3.14	0.57	6.83	0.11	21.67	14.09	0.32		
4	s_ish_7.ol (3)	37.66				27.71	0.19	34.24	0.10		1047	15
	s_ish_7.px (5)	50.75	1.11	2.91	0.04	9.91	0.09	15.88	18.58	0.50		
5	s_kurm_5.ol (2)	37.41				29.10	0.17	33.11	0.15		1059	10
	s_kurm_5.px (2)	50.80	1.13	3.38	0.02	9.55	0.11	15.68	18.35	0.66		
6	s_kurm_6.ol (4)	37.89				29.18	0.21	32.49	0.19		1047	5
	s_kurm_6.px (3)	50.85	1.02	2.84	0.06	9.38	0.05	15.82	19.33	0.56		
7	s_kurm_1.ol (4)	39.82				17.78	0.16	41.59	0.24		1223	19
	s_kurm_1.px (5)	50.93	0.60	4.07	0.47	9.16	0.08	19.51	14.07			
8	7_49_34.ol	38.00				23.32	0.41	37.61	0.15		1045	9
	7_49_43.px	52.36	0.56	2.32	0.74	6.55	0.00	16.56	20.73	0.44		
9	7_49_35.ol	38.04				24.54	0.45	37.43	0.18		1016	3
	7_49_44.px	52.78	0.74	1.85	0.82	5.79	0.00	17.43	20.46	0.34		
10	7_49_11.ol	37.25		0.19		26.36	0.25	35.33	0.32		1097	1
	7_49_07.px	50.81	1.07	3.02	0.00	8.54	0.00	15.30	20.07	0.39		
11	s_shat_1.ol (3)	37.44				27.29	0.37	34.81	0.20		1103	10
	s_shat_1.px (4)	51.24	1.19	3.06	0.00	9.02	0.40	15.76	18.67	0.48		
12	s_shat_2.ol (2)	37.58				26.03	0.28	35.18	0.18		1039	5
	s_shat_2.px (2)	51.26	0.94	2.64	0.25	8.97	0.21	15.58	19.68	0.75		
13	ish_18/1.ol	40.79			0.08	9.15		48.07	0.18		1333	35
	ish_18/1.px (27)	52.11	0.34	3.81	0.61	6.67	0.07	19.11	16.85	0.23		
14	ish_18/2.ol	40.97			0.09	9.26		49.88	0.17		1290	32
	ish_18/2.px (9)	52.34	0.19	3.16	1.02	5.92	0.12	18.52	18.49	0.28		

Примечание: № 1–4 — пикриты, Ишлинский комплекс; № 5–7 — пикриты «Курманайской дайки»; № 8–10 — породы скв. № 7; № 11, 12 — пикриты, Шатакский комплекс. № 13, 14 — пикриты, Ишлинский комплекс, по [Носова и др., 2012]. №№ 1, 2, 7, 8, 11, 13, 14 — центральные части кристаллов; №№ 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12 — краевые части кристаллов. В скобках — количество определений.

Note: No. 1–4 — picrites, Ishlya complex; No. 5–7 — picrites of the Kurmanai Dyke; No. 8–10 — borehole rocks. No. 7; No. 11, 12 — picrites, the Shatak complex. No. 13, 14 — picrites, Ishlya complex, according to [Nosova et al., 2012]. No. 1, 2, 7, 8, 11, 13, 14 are the central parts of the crystals; No. 3, 4, 5, 6, 9, 10, 12 are the edge parts of the crystals. In parentheses is the number of definitions.

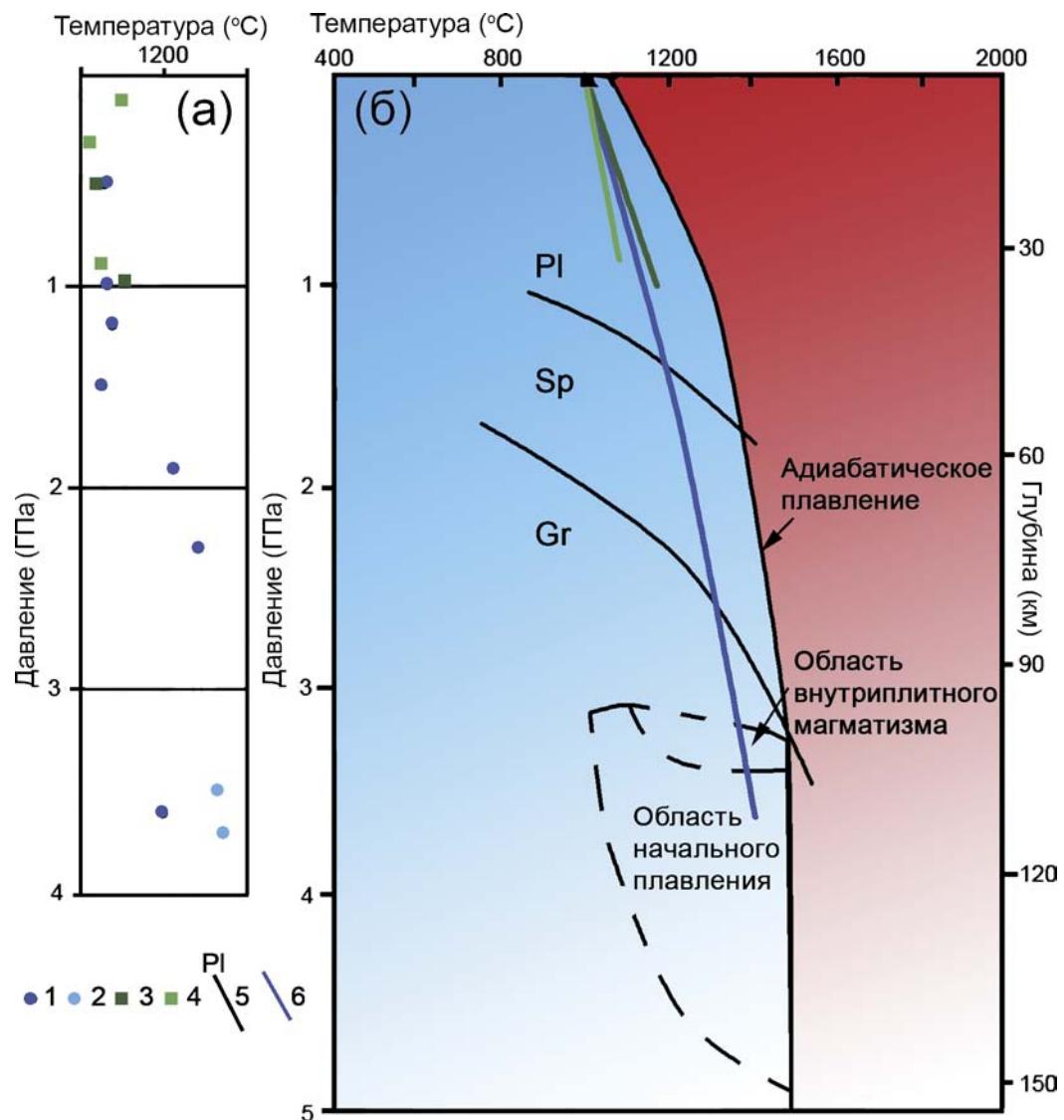


Рис. 3. Р-Тдиаграммы для расплавов, сформировавших пикриты западного склона Южного Урала. (а) — точки рассчитанных Р-Т параметров пород; (б) — тренды эволюции расплавов; (б) по [Green, 2005]

Условные обозначения: 1 — пикриты Ишлинского комплекса; 2 — пикриты Ишлинского комплекса по [Носова и др., 2012]; 3 — пикриты Шатакского комплекса; 4 — пикриты скв. № 7; 5 — поля устойчивости минеральных фаз: Pl — плагиоклаз, Sp — шпинели, Gr — граната; 6 — тренды эволюции расплавов.

Fig. 3. P-T diagrams for melts formed picrites of the western slope of the Southern Urals. (a) — points of calculated P-T rock parameters; (b) to [Green, 2005]

Legend: 1 — picrites of the Ishlya complex; 2 — picrites of the Ishlya complex according to [Nosova et al., 2012]; 3 — picrites of the Shatak complex; 4 — picrites of well No. 7; 5 — stability fields of mineral phases: Pl — plagioclase, Sp — spinel, Gr — garnet; 6 — trends in the evolution of melts.

Особенности эволюционного развития последних (флюидонасыщенность расплава, «открытость» или «закрытость» системы и т. п.) приводят к формированию либо вулкано-плутонических ассоциаций (Шатакский и Машакский комплексы), либо расслоенных интрузивных тел (Кусинско-Копанский комплекс). Образующиеся при

этом аналоги петротипов пород (пикритов и пикродолеритов, в частности) имеют принципиально иной генезис (результат действия кристаллизационно-гравитационного и/или ликвационного механизмов) и не могут быть отождествлены с пикритами и пикродолеритами 1 типа, сформировавшимися в результате кристаллизации

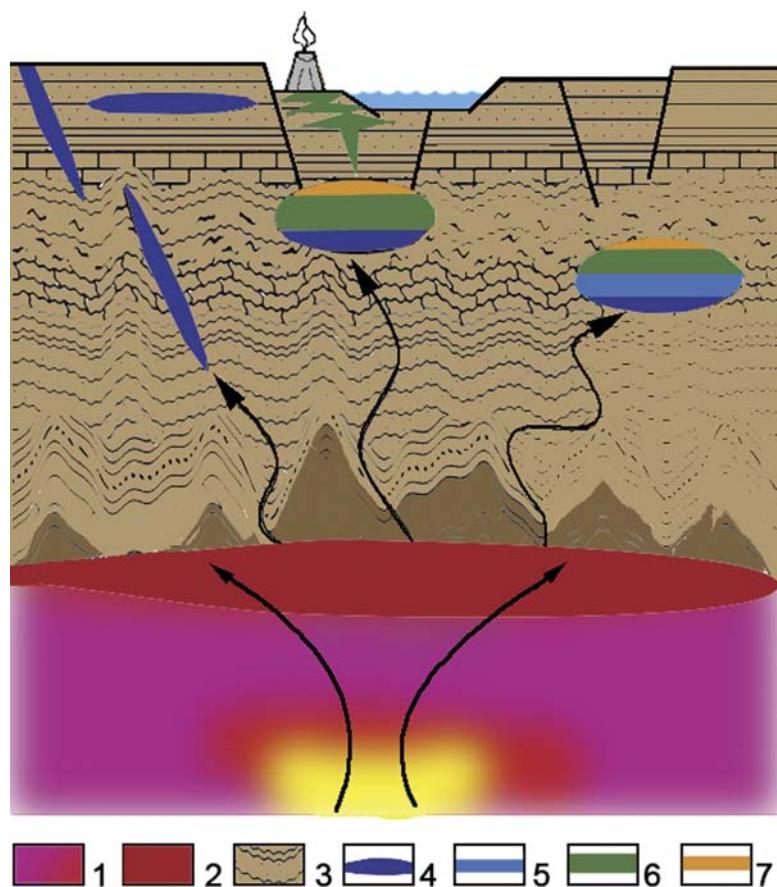


Рис. 4. Идеализированная схема формирования магматических пород различной формационной принадлежности

Условные обозначения: 1 — недифференцированный мантийный субстрат плюма; 2 — «линза» расплава в астеносфере; 3 — кора; 4 — породы пикритового и пикродолеритового состава; 5 — пироксениты; 6 — габбро, долериты; 7 — кислые породы (граниты, риолиты).

Fig. 4. Idealized scheme for the formation of magmatic images of different formational affiliation

Legend: 1 — undifferentiated mantle substrate of plume; 2 — “lens” of the melt in the asthenosphere; 3 — crust; 4 — rocks of picritic and picrodolerite composition; 5 — pyroxenites; 6 — gabbro, dolerites; 7 — acid rocks (granites, rhyolites).

недифференцированного мантийного расплава в верхних горизонтах коры. Базитовый магматизм, представленный в регионе отдельными телами, дайковыми роями, поясами, и имеющий близкий минеральный состав и однотипные геохимические характеристики на всей территории его проявления, также не может являться продуктом непосредственной кристаллизации недифференцированного мантийного расплава, а представляет собой дериваты крупной «магматической линзы», сформировавшейся, вероятнее всего, на границе «нижняя кора – астеносфера» по механизму, близкому к детально описанному А.В. Соболевым с соавторами [Соболев и др., 2009].

Таким образом, проведенные исследования показывают, что при реализации плюмового процесса возможно образование однотипных пород,

генезис которых принципиально различен. В обобщенном виде можно констатировать, что многостадийный процесс дифференциации расплава, контаминация вмещающих отложений и взаимодействие с породами рамы являются определяющими факторами для образования различных формационно-генетических типов магматических пород.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (тема № 0252-2017-0012).

Список литературы:

Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Ковалев С.Г. Расслоенные интрузии западного склона Урала. — Уфа: Гилем, 2000. — 188 с.

Алексеев А.А., Алексеева Г.В., Ковалев С.Г. Дифференцированные интрузии западного склона Урала. — Уфа: Гилем, 2003. — 171 с.

Добрецов Н.Л., Борисенко А.С., Изок А.Э., Жмодик С.М. Термохимическая модель пермотриасовых мантийных плюмов Евразии как основа для выявления закономерностей формирования и прогноза медно-никелевых, благородно- и редкометальных месторождений // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 9. – С. 1159–1187. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.002>.

Ковалев С.Г., Высоцкий И.В., Пучков В.Н., Маслов А.В., Гареев Э.З. Геохимическая специализация структурно-вещественных комплексов Башкирского мегантиклинория. – Уфа: ДизайнПресс, 2013. – 268 с.

Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. Условия образования магматических пород при плюмовом процессе (на примере западного склона Южного Урала) // Докл. РАН. – 2017. – Т. 475, № 2. – С. 171–175. – DOI: <https://doi.org/10.7868/s0869565217200129>.

Ковалев С.Г., Сначев В.И., Романовская М.А. Новые геолого-петрогенетические аспекты формирования Кусинско-Копанского комплекса // Вестник Московского Университета. – Сер. 4. Геология. – 1995. – № 4. – С. 81–85.

Носова А.А., Каргин А.В., Ларионова Ю.О., Сазонова Л.В., Горожанин В.М., Ковалев С.Г. Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение // Петрология. – 2012. – Т. 20, № 4. – С. 392–428.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с. ISBN: 978-5-94423-209-0.

Пучков В.Н., Ковалев С.Г. Плюмовые события на Урале и их связь с субглобальными эпохами рифтогенеза // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2013. – С. 34–38.

Сазонова Л.В., Носова А.А., Ларионова Ю.О., Каргин А.В., Ковалев С.Г. Мезопротерозойские пикриты восточной окраины Восточно-Европейской платформы и Башкирского мегантиклинория: петрогенезис и особенности составов оливина и клинопироксена // Литосфера. – 2011. – № 3. – С. 64–83.

Соболев А.В., Криволуцкая Н.А., Кузьмин Д.В. Петрология родоначальных расплавов и мантийных источников магм сибирской трапповой провинции // Петрология. – 2009. – Т. 17, № 3. – С. 276–310. – DOI: <https://doi.org/10.1134/s0869591109030047>.

Холоднов В.В., Бочарникова Т.Д., Шагалов Е.С. Состав, возраст и генезис магнетит-ильменитовых руд среднерифейского стратифицированного Медведевского массива (Кусинско-Копанский комплекс Южного Урала) // Литосфера. – 2012. – № 5. – С. 145–165.

De Hoog Jan C.M., Louise G., Cornell D.H. Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry // Chemical Geology. – 2010. – V. 270. – P. 196–215. – DOI: [10.1016/j.chemgeo.2009.11.017](https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.11.017).

Ernst R.E. Large Igneous Provinces. – Cambridge Univ. Press, 2014. 653 p. – DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025300>.

Green D.H. Primary magmas at mid-ocean ridges, ‘hot-spots’ and other intraplate settings: constraints on mantle potential temperatures // Geological Society of America. – V. 388. 2005. – DOI: <https://doi.org/10.1130/0-8137-2388-4.217>.

temperatures // Geological Society of America. – V. 388. – 2005. – DOI: <https://doi.org/10.1130/0-8137-2388-4.217>.

Loucks R.R. A precise olivine-augite Mg-Fe-exchange geothermometer // Contrib Mineral Petrol. – 1996. – V. 125. – P. 140–150. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s004100050211>.

Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V., Krasnoboev A.A., Soderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov A.V., Sergeeva N.D. The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // Lithos. – 2013. – V. 174. – P. 109–124. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021>.

Reference:

Alekseev A.A., Alekseeva G.V., Kovalev S.G. Rassloennye intruzii zapadnogo sklona Urala [Layered intrusions of the western slope of the Urals]. Ufa: Gilem, 2000. 188 p. (In Russian).

Alekseev A.A., Alekseeva G.V., Kovalev S.G. Differentsirovannye intruzii zapadnogo sklona Urala [Differentiated intrusions of the western slope of the Urals]. Ufa: Gilem, 2003. 171 p. (In Russian).

De Hoog Jan C.M., Louise G., Cornell D.H. Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry // Chemical Geology. – 2010. – V. 270. – P. 196–215. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.11.017>.

Dobretsov N.L., Borisenko A.S., Izokh A.E., Zhmodik S.M. Termohimicheskaya model' permotriasyovih mantijnyh plyumov Evrazii kak osnova dlya vyvavleniya zakonomernostei formirovaniya i prognoza medno-nikelevykh, blagorodno- i redkometal'nyh mestorozhdenii [A thermochemical model of Eurasian Permo-Triassic mantle plumes as a basis for prediction and exploration for Cu-Ni-PGE and rare-metal ore deposits] // Geologiya i geofizika. 2010. V. 51, No. 9. P. 1159–1187. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.002>. (In Russian).

Ernst R.E. Large Igneous Provinces. Cambridge Univ. Press, 2014. 653 p. – DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139025300>.

Green D.H. Primary magmas at mid-ocean ridges, ‘hot-spots’ and other intraplate settings: constraints on mantle potential temperatures // Geological Society of America. – V. 388. 2005. – DOI: <https://doi.org/10.1130/0-8137-2388-4.217>.

Kholodnov V.V., Bocharnikova T.D., Shagalov E.S. Sostav, vozrast i genezis magnetit-il'menitovykh rud srednerifejskogo stratifitsirovannogo Medvedevskogo massiva (Kusinsko-Kopanskij kompleks Yuzhnogo Urala) [Composition, age and genesis of magnetite-ilmenite ores of the Middle Riphean stratified Medvedev massif (Kusino-Kopan complex of the Southern Urals)] // Litosfera. 2012. No. 5. P. 145–165 (In Russian).

Kovalev S.G., Puchkov V.N., Vysotskiy S.I., Kovalev S.S. Usloviya obrazovaniya magmaticheskikh porod pri plyumovom protsesse (na primere zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala) // DAN. 2017. V. 475. No. 2. P. 171–175 (In Russian).

Kovalev S.G., Snachev V.I., Romanovskaya M.A. Novye geologo-petrogeneticheskie aspekty formirovaniya Kusinsko-Kopanskogo kompleksa [New geological and petrogenetic aspects of the formation of the Kusino-Copan complex] // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Ser. 4. Geologiya. 1995. No. 4. P. 81–85 (In Russian).

Kovalev S.G., Vysotskiy I.V., Puchkov V.N., Maslov A.V., Gareyev E.Z. Geokhimicheskaya spetsializatsiya strukturno-

veschestvennykh kompleksov Bashkirskogo megantiklinoriya [Geochemical specialization of structurally-material complexes of the Bashkir meganticlinorium]. Ufa: DizaynPress, 2013. 268 p. (In Russian).

Loucks R.R. A precise olivine-augite Mg-Fe-exchange geothermometer // Contrib Mineral Petrol. 1996. V. 125. P. 140–150. [Doi.org/10.1007/s004100050211](https://doi.org/10.1007/s004100050211).

Nosova A.A., Kargin A.V., Larionova Y.O., Sazonova L.V., Gorozhanin V.M., Kovalev S.G. Mesoproterozoic within-plate igneous province of the western urals: Main petrogenetic rock types and their origin // Petrology. 2012. V. 20. No. 4. P. 356–390. [Doi.org/10.1134/s086959111204008x](https://doi.org/10.1134/s086959111204008x).

Puchkov V.N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafi, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and the Urals (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)] Ufa: DizajnPoligrafServis, 2010. 280 p. (In Russian).

Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V., Krasnobaev A.A., Soderlund U., Wingate M.T.D., Postnikov A.V., Serge-

eva N.D. The ca. 1380 Ma Mashak igneous event of the Southern Urals // Lithos. 2013. V. 174. P. 109–124. [Doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021](https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021).

Puchkov V.N., Kovalev S.G. Plyumovye sobytiya na Urale i ikh svyaz's subglobal'nymi ehpokhami riftogeneza [Plume events in the Urals and their relationship to the subglobal epochs of rifting] // Kontinental'nyj riftogenet, soputstvuyushchie protsessy. Irkutsk: IZK SO RAN, 2013. P. 34–38 (In Russian).

Sazonova L.V., Nosova A.A., Larionova Yu.O., Kargin A.V., Kovalev S.G. Mezoproterozojskie pikrity vostochnoj okrainy Vostochno-Evropejskoj platformy i Bashkirskogo megantiklinoriya: petrogenezis i osobennosti sostavov olivina i klinopiroksena [Mesoproterozoic picrites of the eastern margin of the East European platform and the Bashkir meganticlinorium: petrogenesis and features of the compositions of olivine and clinopyroxene] // Litosfera. 2011. No. 3. P. 64–83 (In Russian).

Sobolev A.V., Krivolotskaya N.A., Kuzmin D.V. Petrology of the parental melts and mantle sources of Siberian trap magmatism // Petrology. 2009. V. 17, No. 3. P. 253–286. <https://doi.org/10.1134/s0869591109030047>.

Сведения об авторах:

Ковалев Сергей Григорьевич, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: kovalev@ufaras.ru

Высоцкий Сергей Игоревич, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа

Ковалев Сергей Сергеевич, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа

About the autor:

Kovalev Sergei Grigor'evich, doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: kovalev@ufaras.ru

Vysotsky Sergei Igorevich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa

Kovalev Sergei Sergeevich, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa

УДК: 552.086:553.21/.24

DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-8>

АКЦЕССОРНЫЕ АПАТИТЫ ИЗ ГАББРОИДОВ ПОЗДНЕГО ДЕВОНА – РАННЕГО КАРБОНА ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ: ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА, ИНДИКАТОРНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ РОЛЬ

© 2018 г. И. Р. Рахимов, В. В. Холоднов, Д. Н. Салихов

Реферат. Выполнено минерографическое описание кристаллов апатита в шлифах и полированных пластинах пород габброидных комплексов позднего девона – раннего карбона (наурузовского, файзуллинского, утлыкташского и басаевского) Западно-Магнитогорской зоны. На основании изучения морфологии зерен и парагенетических ассоциаций апатита с породообразующими минералами сделан вывод о первично магматическом происхождении апатита, представленного эвгедральными кристаллами игольчатой, шестоватой и призматической формы. Изучен химический состав минерала и на основе содержания в нем F, Cl и S выделены три группы апатитов: 1) высокофтористые апатиты с умеренно повышенным количеством хлора и незначительным количеством серы (наурузовский и файзуллинский комплексы); 2) высокофтористые апатиты с пониженным количеством хлора и незначительным количеством серы (утлыкташский и частично басаевский комплексы); 3) пониженнофтористые и низкохлористые апатиты с повышенным количеством серы (басаевский комплекс). На основании полученных результатов делается заключение о низком потенциале рудоносности изученных габброидных комплексов на Ti-Fe оруденение, однако некоторые интрузии басаевского комплекса могут нести небольшое Au-руденение.

Ключевые слова: Западно-Магнитогорская зона, поздний девон, ранний карбон, габброиды, апатит, галогены, сера, Ti-Fe оруденение

ACCESSORY APATITES FROM THE GABBROIDS OF LATE DEVONIAN – EARLY CARBONIFEROUS GABBROIDS OF THE WESTERN MAGNITOGORSK ZONE: PECULIARITIES OF THE MORPHOLOGY AND CHEMICAL COMPOSITION, INDICATIVE METALLOGENIC ROLE

I. R. Rakhimov, V. V. Kholodnov, D. N. Salikhov

Abstract. A mineralogical description of apatite crystals in thin sections and polished samples from gabbroids of Late Devonian – Early Carboniferous complexes (Nauruz, Faysullino, Utlyktash and Basaev) of the Western Magnitogorsk zone was made. On the basis of study of the morphology of grains and paragenetic associations of apatite with rock-forming minerals, a conclusion was made about the primarily magmatic origin of apatite, represented by euhedral crystals with acicular, columnar and prismatic habit. The chemical composition of the mineral was studied and three apatite groups were distinguished based on the content of F, Cl and S: 1) high fluorine apatites with a medium increased amount of chlorine and insignificant amount of sulfur (Nauruz and Fayzullino complexes); 2) high-fluorine apatites with a moderately reduced amount of chlorine and insignificant amount of sulfur (Utlyktash and partly Basaev complexes); 3) low-fluorine and low-chlorine apatites with increased amount of sulfur (Basaev complex). It is suggested that the ore-bearing capacity of the studied gabbroid complexes is poor in Ti-Fe mineralization, however some intrusions of the Basaev complex may carry a small Au mineralization.

Keywords: Western Magnitogorsk Zone, Late Devonian, Early Carboniferous, gabbroids, apatite, halogens, sulfur, Ti-Fe mineralization

Для цитирования: Рахимов И.Р., Холоднов В.В., Салихов Д.Н. Акцессорные апатиты из габброидов позднего девона – раннего карбона Западно-Магнитогорской зоны: особенности морфологии и химического состава, индикаторная металлогеническая роль // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 109–123. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-8>.

For citation: Rakhimov I.R., Kholodnov V.V., Salikhov D.N. Accessory apatites from the gabbroids of Late Devonian – Early Carboniferous gabbroids of the Western Magnitogorsk zone: peculiarities of the morphology and chemical composition, indicative metallogenetic role// Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P. 109–123. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-8>.

Введение

Апатит является широко распространенным акцессорным минералом в различных по составу магматических породах. В зависимости от состава флюидной фазы и условий кристаллизации он способен концентрировать летучие компоненты (Cl, F, SO₂, H₂S, CO₂, H₂O), обуславливающие миграцию и отложение рудных элементов магматической системы [Бушляков, 1989; Kullerud, 1995; Холоднов, Бушляков, 2002]. Именно поэтому апатит является ценным минералом-индикатором флюидного режима и потенциальной рудоносности магматизма. Особенно информативен апатит для основных пород, не содержащих амфибол и биотит.

В габброидах позднего девона – раннего карбона Западно-Магнитогорской зоны (ЗМЗ) апатит является сквозным минералом-акцессорием, представленным ранне- и позднемагматической генерациями. Рудогенерирующий потенциал этих габброидов во многом не изучен. Между тем эти комплексы формировались в эпоху значительного геодинамического перестроения Южного Урала, которое связывается с аккреционно-коллизионными процессами [Салихов, 1997; Пучков, 2000; Косарев и др., 2006]. Таким образом, изучение петрологических и минералого-geoхимических характеристик этих габброидных комплексов а также их металлогенической специализации имеет большое значение для понимания особенностей магматических процессов, проявляющихся синхронно с аккреционно-коллизионным этапом развития земной коры.

По комплексу признаков позднедевонско-раннекаменноугольные габброидные ассоциации ЗМЗ были объединены в четыре интрузивных комплекса, структурное положение и вещественный состав которых отражают две стадии аккреционно-коллизионного геодинамического этапа развития Магнитогорской мегазоны Южного Урала [Рахимов, 2017]. Это габбронорит-диоритовые наурузовский и файзуллинский комплексы ранней стадии и габро-диоритовые утлыкташский и басаевский комплексы поздней стадии. Эти две группы базитовых комплексов отличаются морфологическими, петролого-geoхимическими и минералогическими особенностями, что свидетельствует о динамической эволюции литосферы Южного Урала в указанный период времени. Одним из важных отличий между ними является галогенно-серный состав акцессорных апатитов, отражающий состав флю-

идной фазы и определяющий металлогенический потенциал магматизма.

Методы исследований

Петрографическое описание пород, в том числе минерографическое описание апатита проводилось И.Р. Рахимовым с помощью оптического микроскопа Axioskop 40 (ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа). Изучение химического состава апатитов производилось в полированных пластинках на электронно-зондовом микроанализаторе SX-100 (CAMECA) с ЭДС Oxford Instruments в ИГГ УрО РАН, г. Екатеринбург (аналитик Д.А. Замятин).

Геологическая характеристика габброидных комплексов

Габброидные комплексы позднего девона – раннего карбона распространены в ЗМЗ в виде узкого и протяженного плутонического пояса, при этом ареалы развития некоторых комплексов перекрываются (рис. 1).

Наурузовский и файзуллинский комплексы по геологическим и минералого-петрографическим особенностям пород являются близкими аналогами. Интрузивы представлены конформными телами субмеридионального простирания, сложенными среднезернистыми габброноритами и габбродиоритами с габбровой и офитовой структурой. Габброиды наурузовского комплекса развиты в северной части ЗМЗ вдоль границы Верхнеуральской синклинали и Ирендыкского антиклиниория — Байрамгуловского разлома надвигового типа. Морфологически они представлены лакколито- и силлоподобными телами протяженностью до 5 км и мощностью около 100–150 м. Файзуллинский комплекс развит в 150 км к югу — в пределах Таналыкской антиклинали. Интрузивы имеют вид гарполитов и лакколитов и приурочены в основном к Западно-Сибайскому разлуку надвигового типа. Вмещающими породами большинства интрузий наурузовского и файзуллинского комплексов являются кремнистые сланцы ярлыкаповской толщи (D₂ef) и туфогенные образования улутауской свиты (D₂₋₃zv-f). Реже габброиды отмечаются среди кремнистых сланцев мукасовской свиты (D₃f) или туфогенных песчаников бугодакской свиты (D₃f-fm), и в связи с этим время их внедрения предположительно датируется фаменским веком позднего девона.

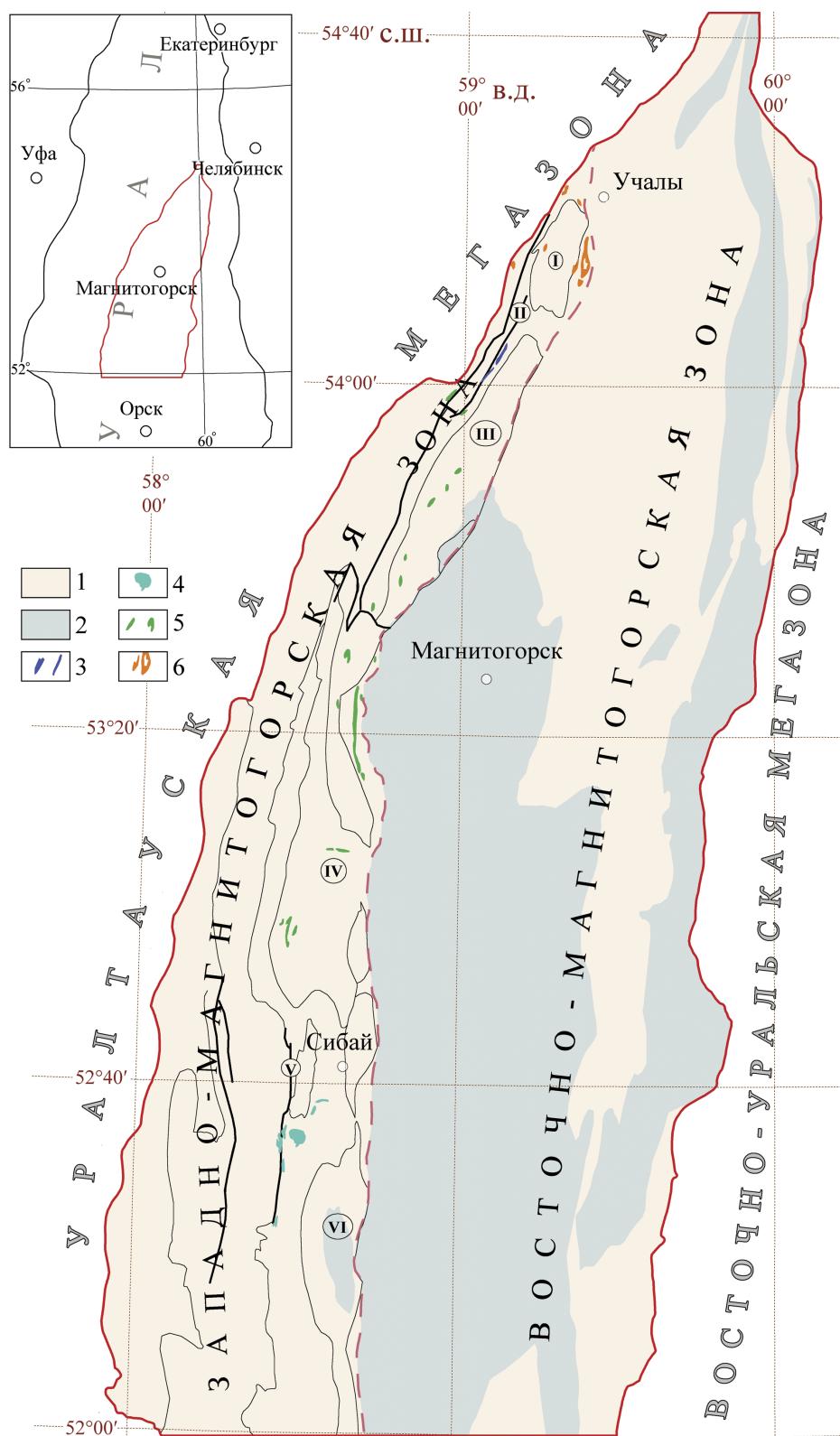


Рис. 1. Геологическая схема расположения позднедевонско-карбоновых интрузий Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала

Fig. 1. Geological scheme of Late Devonian – Early Carboniferous intrusions of Western Magnitogorsk Zone of the Southern Urals

Условные обозначения к рис. 1: 1 — вулканогенно-осадочные комплексы островодужного генезиса (S—D); 2 — вулканогенно-осадочные комплексы постостроводужного генезиса (C); 3—6 — интрузивные тела комплексов: 3 — наурузовского, 4 — файзуллинского 5 — басаевского, 6 — утлыкташского. Римскими цифрами обозначены: I — Имангуловская синклиналь, II — Байрамголовский разлом, III — Верхнеуральская синклиналь, IV — Худолазовская синклиналь, V — Западно-Сибайский разлом, VI — Уртазымская синклиналь.

Legend to fig. 1: 1 — volcanic-sedimentary complexes of island-arc genesis (S—D); 2 — volcanic-sedimentary complexes of post-island-arc genesis (C); 3—6 — intrusive bodies of the complexes: 3 — Nauruz, 4 — Fayzullino, 5 — Basaevo, 6 — Utlyktash. By Romanian numerals are noted: I — Imangulovo syncline, II — Bayramgulovo fault, III — Verkhneural'sk syncline, IV — Khudolaz syncline, V — West-Sibay fault, VI — Urtazym syncline.

Утлыкташский и басаевский комплексы по ряду геологических и петрохимических критериев также близки между собой. Первый из них развит вблизи границ Имангуловской мульды на севере ЗМЗ. Конформные тела субмеридионального простириания приурочены к Восточно-Утлыкташскому разлому, остальные связаны с северо-западной границей синклинали. Породы представлены среднезернистыми габбро, габбродиоритами и диоритами с закономерно изменяющейся структурой от габбровой до офитовой. Вмещающими породами являются кремнистые сланцы мукасовской свиты и терригенные отложения зилаирской свиты (D_3 fm— C_1t_1). Басаевский комплекс образует протяженный пояс, распространенный в пределах Худолазовской мульды, Юлдашевской антиклинали и Верхнеуральской синклинали. Морфологически интрузивы представляют собой силлы и крупные дайки, тесно связанные как с процессом формирования системы синклиналей и антиклиналей в ЗМЗ, так и с последующей фазой проявления разрывной тектоники. Простижение тел в основном субмеридиональное, но нередко встречаются и субширотные интрузивы. Они сложены роговообмаковыми долеритами и мелкозернистыми диоритами. Интрузии басаевского комплекса внедрены в терригенные образования франско-фаменского возраста (нерасчлененные толщи) и породы зилаирской свиты.

Петрографическая и минералогическая характеристика пород. Морфология апатита

Главными минералами пород наурузовского и файзуллинского комплексов являются ромбический пироксен (до 50 об. %), плагиоклаз (40—80%) и моноклинный пироксен (до 20%). Ортопироксен образует призматические кристаллы размером до 2—4 мм, в разной степени подверженные серпентинизации. По составу он соответствует железистому энстатиту ($Wo_{4.0-4.4}En_{57.1-69}Fs_{38.5-27}$). Плагиоклаз представлен таблитчатыми кристаллами, варьирующими по размерам от 0.1—0.5 до 2—5 мм. Его состав изменяется от битовнита (An_{78}

в габброноритах до андезина (An_{42}) в диоритах. В большинстве изученных образцов плагиоклаз соссюритизирован. Клинопироксен образует обычно мелкие гипидиоморфные кристаллы, состав которых соответствует авгиту ($Wo_{40-43.8}En_{40-44.86}Fs_{11.36-20}$). Второстепенным минералом является титаномагнетит (до 15%). Среди акцессорных минералов встречен халькопирит.

Апатит во всех типах пород наурузовского и файзуллинского комплексов распространен довольно равномерно, и в среднем составляет 1—2%. В изученных образцах апатит имеет магматическое происхождение, на что указывают следующие критерии: 1) форма кристаллов обычно игольчатая и шестоватая; 2) захват его кристаллов породообразующими минералами (плагиоклазом, пироксеном), в том числе свежими неизмененными; 3) помутнение, резорбированность и деформированность кристаллов, находящихся в окружении постмагматических минералов (хлорита, эпидота, кварца, актинолита).

Основная часть кристаллов апатита концентрируется в породах в виде небольших кучных скоплений, объединяющих от 3 до 10—15 шестоватых или игольчатых кристаллов внутри мирамекитовых образований (рис. 2а). В таких обособлениях апатит часто имеет идеальную кристаллографическую форму (рис. 2б). Само наличие мирамекита в породах основного состава — довольно редкое явление и носит название «известкового мирамекита» [Ефимов и др., 2010]. В длину кристаллы апатита достигают 1.15 мм при толщине обычно не более 0.03 мм. Нередко апатит тесно связан с индивидами плагиоклаза, образуя проникающие кристаллы в таблитчатые зерна последнего, либо ориентируясь вдоль граней плагиоклазовых кристаллов.

Часто кристаллы апатита встречаются в окружении агрегатов постмагматических минералов — хлорита, кварца, альбита. В такой ассоциации зерна апатита часто характеризуются дефектами граней (резорбированностью) и трещиноватостью. При микроскопическом изучении в одном из таких участков замещения плагиоклаза альбитом и кварцем был обнаружен кристалл апатита, наполовину

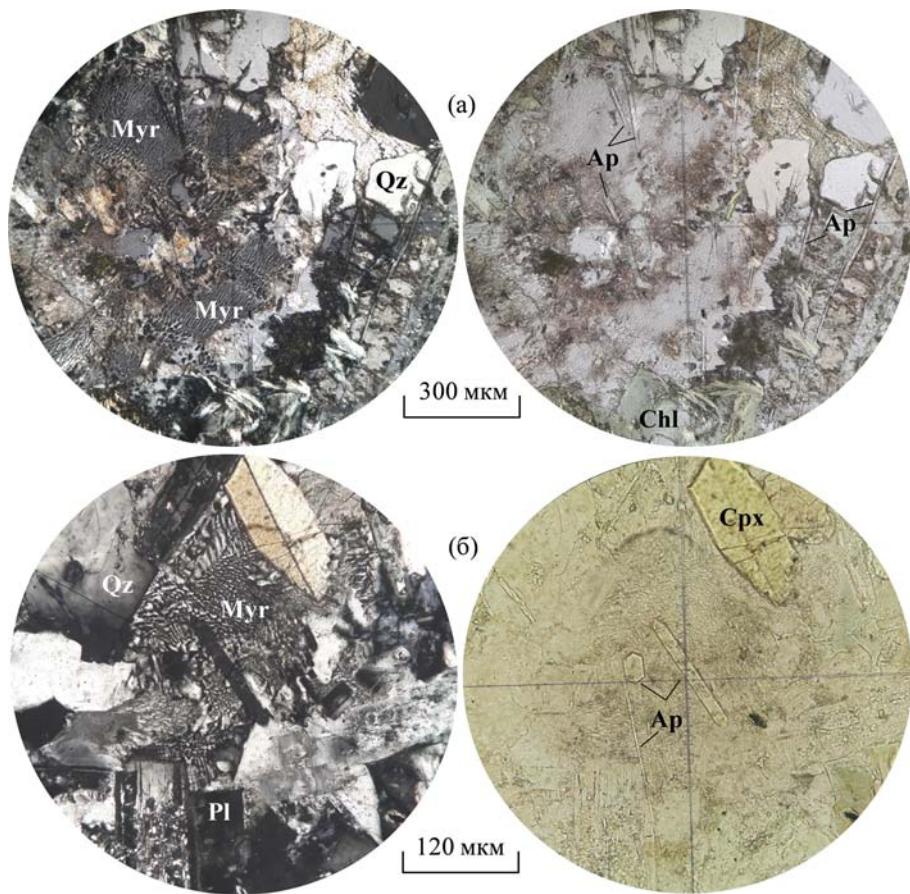


Рис. 2. Кристаллы апатита в миремките габброноритов наурузовского (а) и файзуллинского (б) комплексов. Изображения в проходящем свете с анализатором и без анализатора

Примечания: Ap — апатит, Myr — миремкит, Qz — кварц, Pl — плагиоклаз, Cpx — клинопироксен, Chl — хлорит.

Fig. 2. Crystals of apatite in the myrmekite in the gabbronorites of Nauruz (a) and Fayzullino (b) complexes. Images in the passing light with analyzer and without analyzer

Notes: Ap — apatite, Myr — myrmekite, Qz — quartz, Pl — plagioclase, Cpx — clinopyroxene, Chl — chlorite.

разрушенный, а сохранившаяся часть очерчена опакитовой каемкой (рис. 3а). В окружении агрегатов хлорита кристаллы апатита рассечены широкими трещинами и также частично разрушены. Трециноватые кристаллы апатита, находящиеся в хлоритовом матриксе, бывают подвергнуты изгибу и блочному разрыву с отрывом фрагментов единого кристалла друг от друга (рис. 3б). Это явление связывается с увеличением объема замещаемого вещества при образовании хлорита.

Породы басаевского комплекса отличаются наиболее мелкозернистым строением среди всех упоминаемых в данной работе комплексов. Главным минералом пород является плагиоклаз, количества которого варьирует в пределах 45–75 об. %. Его состав изменяется от An₆₂ до An₃₇. Чаще всего он преобразован постмагматическими процессами.

Зерна плагиоклаза имеют таблитчатую форму и достигают 4 мм в длину в субшелочных разностях пород, но обычно — 0.2–0.5 мм. Амфибол является вторым по распространенности первично магматическим минералом (5–30%) и по химическому составу соответствует чермакиту и магнезиальной роговой обманке. Чаще всего амфибол представлен гипидиоморфными зернами размером 0.1–0.5 мм. По нему развиваются хлорит, антигорит, актинолит, растущие по трещинам или в краевых частях зерен. Клинопироксен в породах басаевского комплекса является второстепенным минералом (1–15%). Его состав отвечает эндиопсиду ($W_{41.37-47.58}E_{n_{42.04-46.23}}F_{8.29-10.38}$). Пироксен обычно образует мелкие (0.1–0.3 мм) гипидиоморфные кристаллы, частично или полностью замещенные хлоритом или эпидотом. В субшелочных разностях

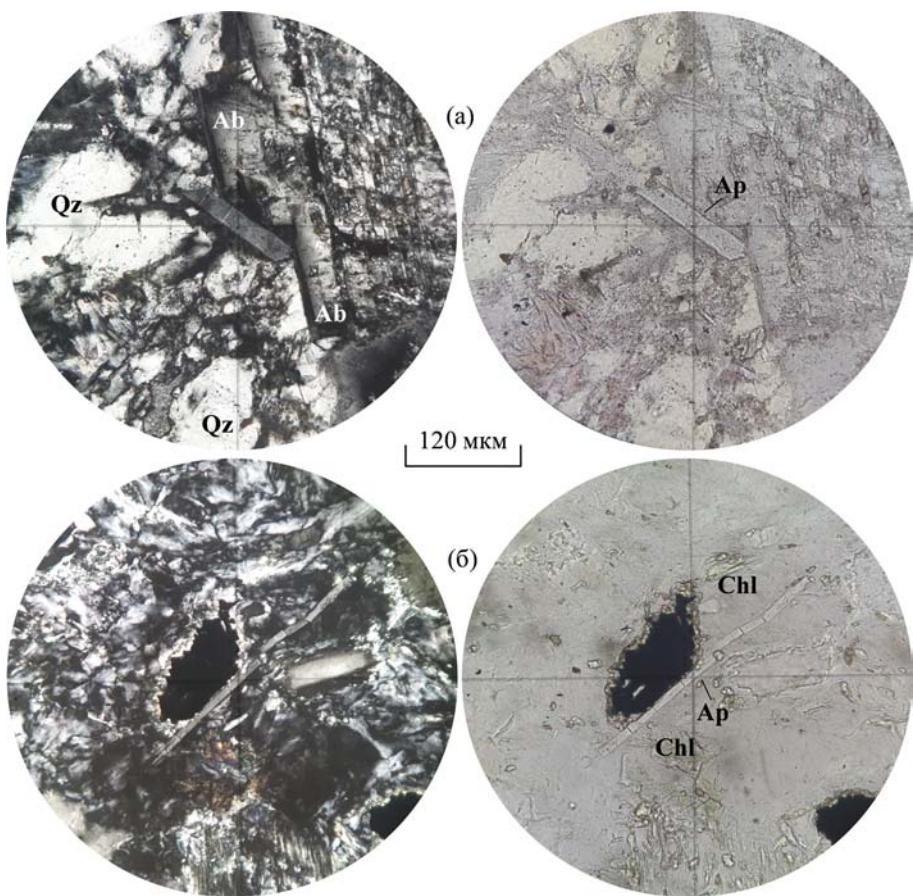


Рис. 3. Кристаллы апатита в альбит-кварцевом (а) и в хлоритовом (б) матриксе, файзуллинский комплекс. Изображения в проходящем свете с анализатором и без анализатора

Примечания: Ab — альбит, остальные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 3. Crystals of apatite in the albite-quartz (a) and chlorite (b) matrix, Fayzullino complex. Images in the passing light with analyzer and without analyzer

Notes: Ab — albite, other notes see at the fig. 2.

пород встречается калий-натриевый полевой шпат (до 20 об. %) в виде неправильных изометрических зерен размером до 1–2 мм. Среди акцессорных минералов наиболее распространены титаномагнетит (1–5%), ильменит (1–5%), пирит (0–7%), апатит (до 4%).

Формирование апатита связано с ранне- и позднемагматическими процессами, ответственными за распад титаномагнетита и частичное замещение плагиоклаза. Скопления шестоватых кристаллов апатита развиты внутри крупных зерен плагиоклаза и амфибола. На рис. 4а показан кристалл апатита, захваченный ксеноморфным кристаллом амфибола. Внутри интенсивно серicitизированных и пелитизированных кристаллов плагиоклаза апатит является помутненным. В субщелочных разновидностях пород басаевского комплекса количество апатита

наиболее велико — до 4%. В таких породах апатит образует остроконечные кристаллы, «пронизывающие» ксеноморфные зерна ортоклаза (рис. 4б). В зонах развития хлоритовых агрегатов кристаллы апатита резорбированы, а по трещинам отрыва сформированы продукты окисления железа.

Породы утлыкташского комплекса по минеральному составу заметно отличаются от габброидов басаевского комплекса. Их состав определяют два главных минерала — плагиоклаз (60–80%) и моноклинный пироксен (3–30%). Плагиоклаз во всех изученных образцах оказался полностью альбитизированным, а его первично магматический состав, скорее всего, соответствовал лабрадору. Кристаллы отличаются ясным идиоморфизмом, особенно в диоритовых разностях, а их размеры достигают 1–4 мм. Пироксен

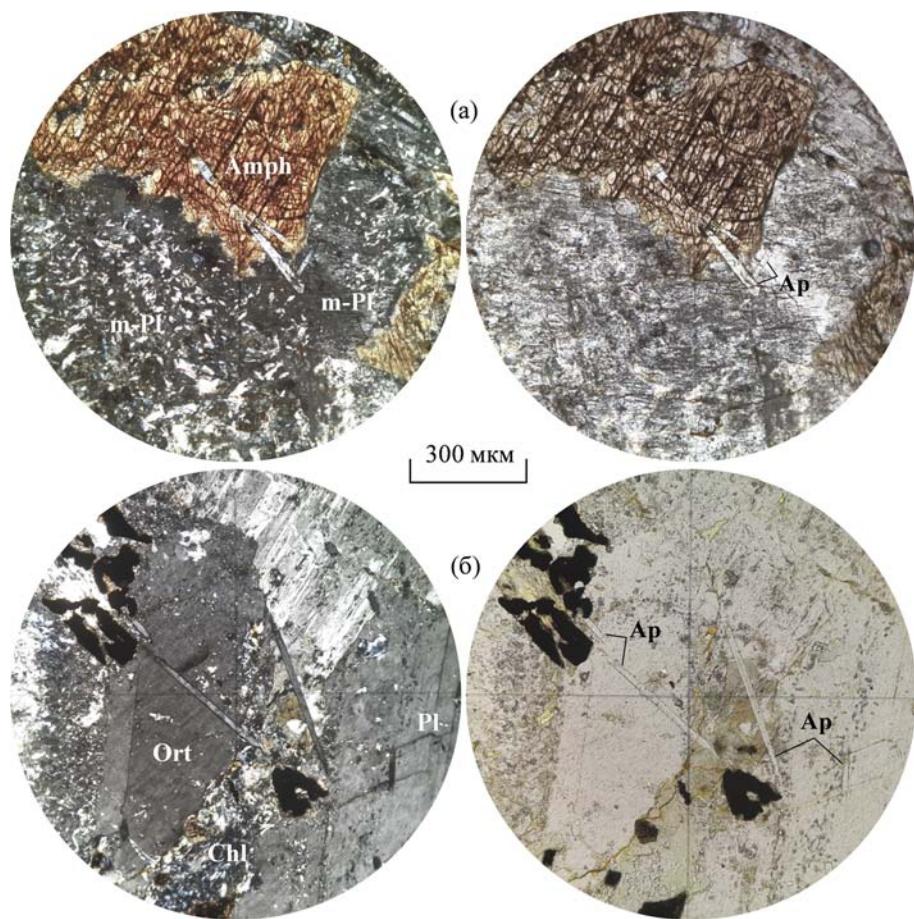


Рис. 4. Кристаллы апатита в плагиоклаз-амфиболовом (а) и плагиоклаз-хлорит-ортоклазовом (б) матриксе, басаевский комплекс. Изображения в проходящем свете с анализатором и без анализатора

Примечания: Amph — амфибол, m-Pl — метаморфизованный плагиоклаз, Ort — ортоклаз, остальные обозначения см. на рис. 2 и 3.

Fig. 4. Crystals of apatite in the plagioclase-amphibole (a) and plagioclase-chlorite-orthoclase (б) matrix, Basaev complex. Images in the passing light with analyzer and without analyzer

Notes: Amph — amphibole, m-Pl — metamorphosed plagioclase, Ort — orthoclase, other notes see on the figs. 2 and 3.

представлен призматическими кристаллами размером 0.2–1 мм. Состав пироксена отвечает авгиту ($Wo_{42.28-47.44}En_{37.03-44.47}Fs_{9.99-25.64}$). Третьим по распространенности минералом в породах является ильменит, количество которого в габбро достигает 15%. В породах утлыкташского комплекса ильменит отличается ясным идиоморфизмом и довольно крупными размерами зерен (до 1.5 мм).

Апатит в породах утлыкташского комплекса также является наиболее характерным акцессорным минералом, его количество достигает 3–3.5%. Обнаруженные в шлифах кристаллы апатита имеют шестоватую или длиннопризматическую форму и находятся обычно в виде скоплений-включений внутри крупных таблитчатых зерен плагиоклаза, либо располагаются в границах зерен плагиокла-

за и моноклинного пироксена. Наиболее крупные кристаллы апатита достигают длины 0.75 мм. Большинство изученных кристаллов, судя по их минерографическим характеристикам, имеют магматическое происхождение. Помимо тонких идиоморфных кристаллов встречаются широко-призматические зерна, включающие относительно крупные фрагменты породообразующих минералов (рис. 5а), что указывает на раннемагматическое происхождение апатита. В интенсивно хлоритизированном габбро был обнаружен идиоморфный шестоватый кристалл апатита, «пересекающий» кристалл ильменита и участки зерен пироксена и плагиоклаза, а та часть, что находится в хлоритовом матриксе, подвергнута дроблению со смещением фрагментов (рис. 5б).

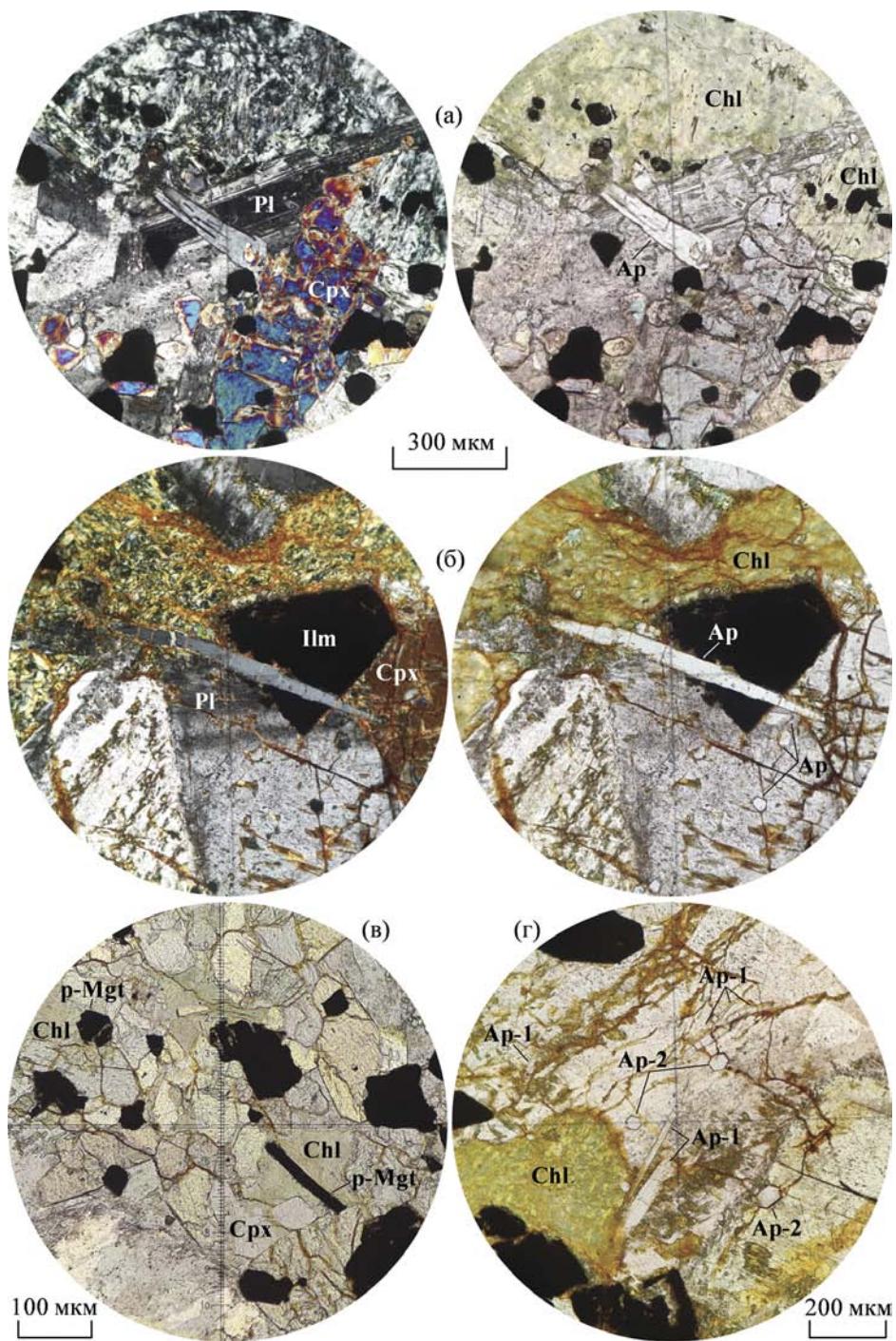


Рис. 5. Фотографии шлифов габброидов углыкташского комплекса: (а) кристалл апатита с захватом пироксена (с анализатором/без анализатора), (б) кристалл апатита, раздробленный в хлоритовом матриксе (с анализатором/без анализатора), (в) вторичные хлорит-магнетитовые ассоциации (без анализатора), (г) две генерации (?) апатита (без анализатора)

Примечания: Ilm — ильменит, p-Mgt — предполагаемые псевдоморфозы магнетита, Ap-1 — апатит первой генерации, Ap-2 — апатит второй генерации, остальные обозначения см. на рис. 2.

Fig. 5. Photos of microsections of the Utlyktash complex's gabbroids: (a) crystal of apatite holding pyroxene (with analyzer and without analyzer), (b) crystal of apatite was crushed in the chlorite matrix (with analyzer and without analyzer), (c) secondary chlorite-magnetite associations (without analyzer), (r) two generations (?) of apatite (without analyzer)

Notes: Ilm — ilmenite, p-Mgt — assumed pseudomorphose of magnetite, Ap-1 — first generation apatite, Ap-2 — second generation apatite, other notes see on the fig. 2.

В изученных образцах пород утлыкташского комплекса большое место имели процессы постмагматического образования минералов железа. Встречаются два типа таких минеральных ассоциаций: 1) развитие идиоморфных зерен магнетита и 2) трещинно-жильное формирование гидроксидов железа. Первый тип мог реализовываться при хлоритизации пироксена (замещение железа магнием) и лейкоксенитизации ильменита и титаномагнетита с последующим выделением вторичного магнетита. Примером этого могут служить новообразованные магнетит-хлоритовые ассоциации с длиннопризматическими кристаллами магнетита (рис. 5в). Примечательно, что в этой породе практически нет апатита, а ильменит полностью замещен кварцем и титанитом. Второй тип выражен в большинстве изученных образцов и мог быть связан с внешними источниками ожелезнения. Формирование сети мелких извилистых трещин, заполнившихся продуктами окисления железосодержащих минералов, затронуло все породообразующие минералы, а также магматический апатит. Кристаллы апатита в таких породах пронизаны трещинами, содержащими гидроокислы железа. На рис. 5г показан один из фрагментов породы с кристаллами апатитов разного сечения. Продольно срезанные шлифом кристаллы апатита разбиты трещинами, заполненными жилами гидроксидов железа, тогда как поперечно срезанные зерна апатита, ориентированные, в том числе, по тем же трещинам, не несут следов трещиноватости. Данное явление пока не нашло конкретной генетической интерпретации, но предполагаются два варианта: либо вторая группа кристаллов апатита не повреждена трещинами ожелезнения ввиду механических особенностей деформации породы (трещины развивались вдоль граней кристаллов), либо их образование синхронно с формированием тре-

щин ожелезнения, т.е. они имеют постмагматическое происхождение.

Петрогохимическая характеристика пород

Породы наурузовского и файзуллинского комплексов по химическому составу отвечают пониженотитанистым ($TiO_2 \sim 1.1$ мас. %) и нормальнощелочным габбро (рис. 6) с калий-натровым типом щелочности ($Na_2O/K_2O \sim 3$), в то время как габброиды утлыкташского и басаевского комплексов являются умеренно- и высокотитанистыми ($TiO_2 1–2.5\%$), относясь к базитам с повышенной щелочностью при $Na_2O/K_2O > 4$. Содержание MgO в породах всех комплексов сопоставимо, но индекс глиноземистости $Al\# = Al_2O_3/(FeO_t + MgO)$ в первой группе комплексов низкий (<1), а во второй — высокий (>1). По общей железистости эти две группы комплексов сопоставимы (FeO_t ($FeO + Fe_2O_3$) в среднем около 13%) и незначительно отличаются содержаниями P_2O_5 (0.18–0.24 в первой группе габброидов, 0.3–0.4 — во второй).

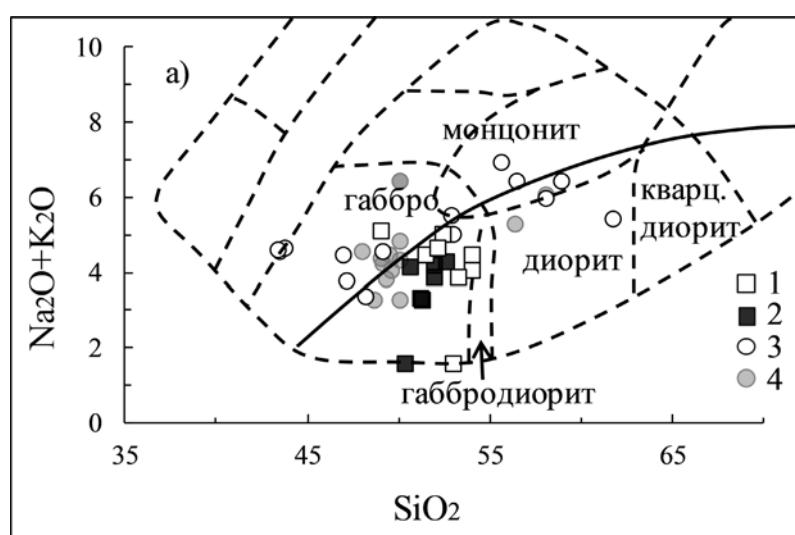
Габброиды первой группы характеризуются повышенными концентрациями ряда крупноионных лиофильных элементов, таких как Cs, Rb, Ba (в 30–100 раз превышают кларки примитивной мантии), но при этом уровни накопления высокозарядных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, Y, редкоземельные элементы) в них относительно низкие [Рахимов, 2017]. Породы второй группы комплексов также обогащены крупноионными лиофильными элементами (Rb, Ba, Sr), но отличаются повышенными содержаниями — в 2–4 раза — высокозарядных микроэлементов (Zr, Hf, редкоземельные

Рис. 6. Номенклатурная TAS-диаграмма [Wilson, 1989] для пород наурузовского (1), файзуллинского (2), утлыкташского (3) и басаевского (4) комплексов

Примечания: сплошная линия разграничивает нормальнощелочные и умереннощелочные — щелочные породы.

Fig. 6. Nomenclature TAS diagram [Wilson, 1989] for rocks of Nauruz (1), Fayzullino (2), Utlyktash (3), Basaevo (4) complexes

Notes: uninterrupted line separates normal-alkaline and subalkaline – alkaline rocks.



элементы) относительно базитов наурузовского и файзуллинского комплексов.

Особенности химического состава апатитов

В изучаемых породах почти весь обнаруженный апатит имеет первично магматическое происхождение. Состав такого апатита отражает состав флюида, участвующего в кристаллизации

пород. Летучие компоненты магмы в исследуемых породах главным образом входили в состав апатита и амфиболя, однако последний в ощутимом количестве развит только в габброидах басаевского комплекса. Таким образом, именно апатит является главным индикаторным минералом флюидного режима для пород всех представленных комплексов. Химические составы апатитов представлены в таблице.

Таблица

Представительные анализы апатитов из габброидов
позднего девона – раннего карбона ЗМЗ

Table

Representative analyzes of apatites from gabbroids
of the Late Devonian – Early Carboniferous of the Western Magnitogorsk Zone

№ № пробы	№ № п/п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	F	P ₂ O ₅	Cl	SO ₃	SrO	BaO	Total
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Д1-120	1	2.43	0.07	0.14	0.00	н.о.	53.15	0.02	2.08	40.81	0.21	0.02	0.06	0.00	98.99
	2	0.25	0.01	0.38	0.14	н.о.	54.19	0.02	2.28	42.12	0.80	0.05	0.06	0.00	100.29
	3	0.35	0.06	0.83	0.08	н.о.	54.04	0.02	2.61	41.97	0.82	0.03	0.17	0.10	101.08
	4	1.81	0.96	0.88	0.09	н.о.	52.03	0.05	2.16	41.08	0.84	0.01	0.07	0.06	100.05
	5	0.17	0.03	1.04	0.09	н.о.	54.45	0.01	2.76	42.09	0.86	0.00	0.11	0.00	101.59
	6	0.19	0.02	1.36	0.10	н.о.	54.19	0.00	2.86	41.59	0.69	0.03	0.09	0.20	101.34
	7	0.26	0.04	0.53	0.11	н.о.	54.44	0.05	2.45	41.91	0.81	0.02	0.12	0.00	100.73
	8	0.40	0.01	0.50	0.11	н.о.	54.20	0.01	2.93	42.41	0.79	0.00	0.11	0.08	101.55
	9	0.28	0.00	0.64	0.09	0.25	54.21	0.00	2.50	41.88	0.95	0.05	0.16	н.о.	101.02
	10	0.26	0.03	0.79	0.21	0.18	54.11	0.00	2.43	41.44	0.91	0.00	0.13	н.о.	100.49
	11	0.32	0.04	0.43	0.27	0.19	54.42	0.09	2.43	41.81	0.91	0.04	0.17	н.о.	101.11
	12	0.14	0.01	0.77	0.22	0.22	54.23	0.00	2.41	42.05	0.89	0.04	0.11	н.о.	101.10
Д2-13	13	0.19	0.00	0.39	0.00	0.13	54.19	0.03	2.82	40.60	1.08	0.02	0.09	н.о.	99.55
	14	0.18	0.01	0.34	0.10	0.12	54.38	0.02	2.79	40.85	1.12	0.02	0.07	н.о.	100.00
	15	0.16	0.00	0.48	0.02	0.13	54.48	0.00	2.51	41.35	1.07	0.00	0.03	н.о.	100.24
	16	0.14	0.01	0.39	0.18	0.14	54.70	0.00	2.77	40.97	1.04	0.07	0.04	н.о.	100.44
Д1-56	17	0.53	0.04	0.66	0.06	н.о.	53.42	0.08	1.97	40.91	0.41	0.15	0.04	0.00	98.26
	18	0.36	0.03	0.25	0.00	н.о.	53.84	0.04	1.66	41.19	0.52	0.15	0.01	0.10	98.15
	19	0.33	0.01	0.23	0.06	н.о.	54.05	0.04	1.42	41.18	0.50	0.13	0.10	0.00	98.05
	20	0.14	0.03	0.43	0.05	н.о.	54.15	0.01	1.43	41.20	0.49	0.02	0.09	0.00	98.04
Д1-59	21	0.20	0.05	0.13	0.20	н.о.	55.03	0.01	2.38	42.32	0.09	0.04	0.09	0.00	100.53
	22	0.07	0.02	0.31	0.04	н.о.	55.26	0.02	2.53	42.66	0.28	0.02	0.06	0.12	101.40
	23	0.31	0.01	0.29	0.07	н.о.	53.99	0.17	2.31	41.39	0.35	0.47	0.17	0.00	99.53
	24	0.38	0.06	0.22	0.25	н.о.	53.64	0.23	1.97	41.40	0.35	0.39	0.13	0.00	99.01
	25	0.79	0.19	3.00	0.04	н.о.	52.13	0.06	1.90	39.61	0.35	0.13	0.03	0.15	98.38
	26	0.23	0.01	0.29	0.11	н.о.	54.14	0.16	1.88	41.08	0.35	0.37	0.17	0.00	98.80
	27	0.21	0.01	0.44	0.09	н.о.	54.33	0.14	1.87	41.32	0.27	0.33	0.16	0.00	99.18
	28	0.23	0.00	0.55	0.13	н.о.	54.42	0.14	2.41	41.03	0.23	0.33	0.11	0.00	99.59
	29	0.26	0.02	0.33	0.13	н.о.	54.43	0.17	1.84	41.01	0.38	0.32	0.09	0.00	98.97

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Д1-72	30	0.22	0.00	0.51	0.09	0.20	54.51	0.08	1.51	41.78	0.16	0.01	0.07	н.о.	99.14
	31	0.56	0.01	0.32	0.00	0.16	54.28	0.02	1.32	41.22	0.14	0.02	0.03	н.о.	98.09
	32	0.30	0.00	0.47	0.04	0.26	54.70	0.01	1.79	41.98	0.10	0.00	0.12	н.о.	99.78
	33	0.13	0.02	0.32	0.15	0.19	54.97	0.06	1.52	42.10	0.16	0.00	0.09	н.о.	99.71
	34	0.22	0.04	0.32	0.19	0.17	54.77	0.07	1.48	42.15	0.12	0.00	0.07	н.о.	99.59
	35	0.26	0.00	0.45	0.17	0.17	54.93	0.00	1.79	42.10	0.11	0.04	0.01	н.о.	100.04
Д1-11	36	0.19	0.00	0.65	0.14	н.о.	54.67	0.00	2.67	42.07	0.28	0.00	0.12	0.13	100.92
	37	0.24	0.00	0.31	0.06	н.о.	54.76	0.01	2.25	41.63	0.31	0.01	0.08	0.07	99.71
	38	0.14	0.00	0.88	0.05	н.о.	54.67	0.00	2.82	42.45	0.30	0.03	0.08	0.10	101.51
	39	0.19	0.00	0.76	0.13	н.о.	54.44	0.02	3.11	41.52	0.29	0.00	0.09	0.17	100.73
	40	0.30	0.01	0.48	0.18	н.о.	53.98	0.02	2.34	40.99	0.28	0.01	0.07	0.00	98.67
	41	0.22	0.00	0.47	0.12	н.о.	54.14	0.02	2.32	40.88	0.34	0.02	0.09	0.25	98.88
	42	0.15	0.00	0.61	0.08	н.о.	54.34	0.00	2.90	41.59	0.28	0.01	0.09	0.00	100.05
Д1-12	43	0.11	0.00	0.38	0.06	0.25	54.52	0.02	2.76	41.27	0.39	0.03	0.10	н.о.	99.89
	45	0.19	0.02	0.41	0.06	0.20	54.83	0.00	2.86	41.09	0.58	0.04	0.11	н.о.	100.38
	46	0.16	0.00	0.26	0.11	0.31	54.28	0.00	2.92	39.52	0.62	0.02	0.11	н.о.	98.30
	47	0.23	0.00	0.41	0.11	0.17	54.60	0.10	2.81	41.30	0.54	0.02	0.04	н.о.	100.34
	48	0.13	0.00	0.25	0.04	0.27	54.64	0.03	2.63	41.41	0.66	0.01	0.10	н.о.	100.16

Примечания: 1–12 — файзуллинский комплекс (Бахтигареевский лакколит), 13–16 — наурузовский комплекс (Наурузовский лакколито-силл), 17–35 — басаевский комплекс (17–29 — Северо-Бускунский силл и 30–35 — силл Маха), 36–48 — утлыкташский комплекс (Утлыкташский лополит); н. о. — компонент не определялся.

Notes: 1–12 — Fazullino complex (Bakhtigareevo laccolith), 13–16 — Nauruz complex (Nauruz laccolith-sill), 17–35 — Basaev complex (17–29 — Northern Buskun sill and 30–35 — Makha sill), 36–48 — Utlyktash complex (Utlyktash lopolite); n. o. — element not detected.

Типичными элементами-примесями в апатитах являются редкоземельные, щелочноземельные (Sr, Ba) и некоторые элементы, замещающие в структуре минерала позиции кальция. Апатиты изучаемых габброидов содержат низкое или умеренное количество стронция, характерное для нормальнощелочных пород. Наиболее высокое количество стронция отмечается в апатитах из пород файзуллинского комплекса (в среднем 0.11 мас.%), а наиболее низкое — в апатитах наурузовского комплекса (0.06%). В апатитах пород басаевского и утлыкташского комплексов в среднем содержится одинаковое количество стронция (0.09%), но концентрации этого элемента в апатитах басаевского комплекса сильно варьируют (рис. 7а). Количество CaO в последних также меняется в значительных пределах — 52.1–55.3%. Содержание кальция в апатитах из пород наурузовского и утлыкташского комплексов стабильно — 54–55%, а в файзуллинском комплексе несколько вариативно — 52–54.2%.

Сера в форме сульфат-иона (SO_4^{2-}) замещает группировку (PO_4^{3-}) в апатите [Перчук и др., 2015], а ее количественное значение в этом минерале является важнейшим индикатором накопления

сульфуроильных элементов в магматической породе [Бушляков, 1989]. В большинстве изучаемых апатитов сера содержится в малом количестве ($\text{SO}_3 \leq 0.05\%$). Лишь апатиты басаевского комплекса отличаются переменно повышенными концентрациями серы. На диаграмме $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{SO}_3$ (рис. 7б) они образуют две обособленные группы, характеризующие как низкие значения серы ($\text{SO}_3 \leq 0.04\%$, на уровне других комплексов), так и повышенные значения ($\text{SO}_3 0.13\text{--}0.47\%$) при определенной прямой корреляции с содержанием фосфора.

По содержанию фтора и хлора в апатитах представленные габброидные комплексы на диаграмме F—Cl образуют практически обособленные поля, но отчетливых корреляций в поведении этих элементов практически не наблюдается (рис. 8а). В процессе проникновения магмы во вмещающие породы происходит ее дегазация, при этом хлор выносится интенсивнее, чем фтор и поэтому количество последнего обычно выше [Холоднов, Бушляков, 2002]. Суммарно наибольшие содержания галогенов характерны для апатитов наурузовского и файзуллинского комплексов. Наиболее хлористые апатиты отмечаются в породах наурузовского комплекса (Cl 1–1.1%), чуть менее хлористыми

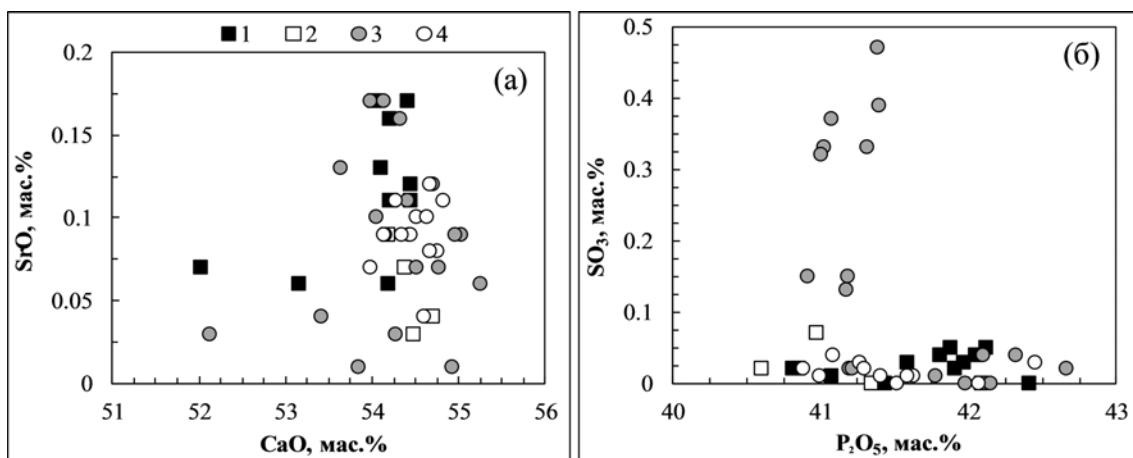


Рис. 7. Диаграммы CaO – SrO (а) и P₂O₅ – SO₃ (б) для апатитов из габброидов позднего девона – раннего карбона ЗМЗ
Примечания: 1 – файзуллинский комплекс, 2 – наурузовский комплекс, 3 – басаевский комплекс, 4 – утлыкташский комплекс.

Fig. 7. Diagrams CaO – SrO (a) and P₂O₅ – SO₃ (b) for apatites from gabbroids of Late Devonian – Early Carboniferous of the Western Magnitogorsk Zone

Notes: 1 – Fayzullino complex, 2 – Nauruz complex, 3 – Basaev complex, 4 – Utlyktash complex.

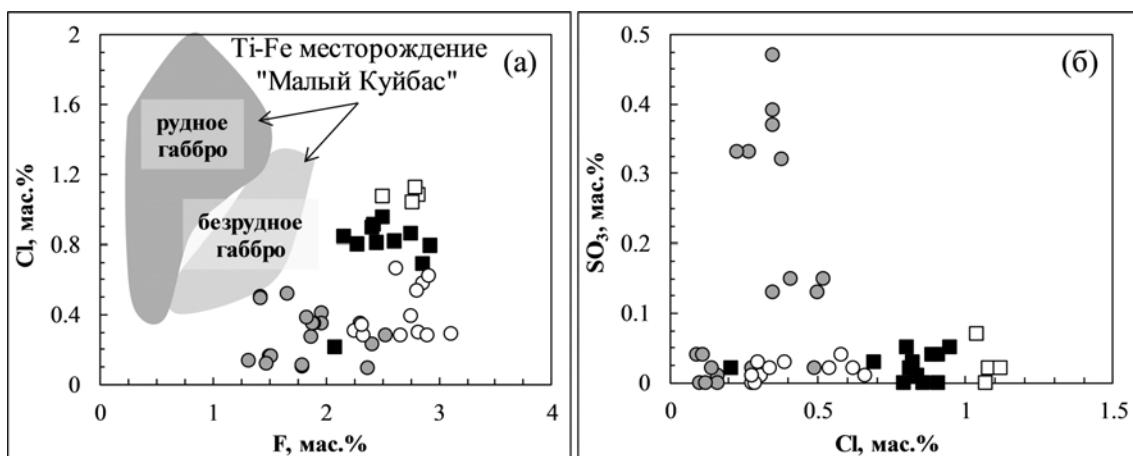


Рис. 8. Диаграммы F – Cl (а) и Cl – SO₃ (б) для апатитов из габброидов позднего девона – раннего карбона ЗМЗ

Примечания: условные обозначения см. на рис. 7; поля составов апатитов пород месторождения «Малый Куйбас» заимствованы из [Холоднов, Бушляков, 2002].

Fig. 8. Diagrams F – Cl (a) and Cl – SO₃ (b) for apatites from gabbroids of Late Devonian – Early Carboniferous of the Western Magnitogorsk Zone

Notes: the symbols see on the fig. 7; fields of compositions of apatite from rocks of “Malyi Kuibas” deposit taken from [Kholodnov, Bushlyakov, 2002].

являются апатиты файзуллинского комплекса (Cl 0.7–1%). Апатиты данных комплексов также обогащены и фтором (F 2.5–2.8% и F 2.1–2.9% соответственно). Наиболее вариативные и в целом пониженные концентрации галогенов характерны для апатитов басаевского комплекса (F 1.4–2.5%, Cl 0.1–0.5%). Апатиты утлыкташского комплекса обогащены фтором (2.3–3.1%) при умеренно пониженном содержании хлора (0.3–0.7%).

Совместно с галогенами в гидроксилсодержащих минералах для оценки рудогенерирующей роли флюида обычно рассматривается и сера. При этом особенно важны взаимоотношения хлора и серы, как основных агентов так называемого хлоридно-гидросульфидного рудообразующего процесса [Маракушев, 1975]. Относительно четкая корреляция содержаний серы и хлора может быть прослежена лишь для повышенносернистых апатитов

басаевского комплекса (рис. 8б), в которых наблюдается обратная корреляция этих компонентов (величина достоверности аппроксимации 0.36). При этом низкосернистые апатиты соответствуют и наименее хлористым.

Обсуждение результатов и выводы

Среди всех изученных апатитов не было встречено таких по составу, которые могли бы четко характеризовать определенный флюидно-рудогенерирующий режим, поскольку не было обнаружено типично фтористых или хлористых (хлористосернистых) апатитов. Именно по таким апатитам возможно идентифицировать фторофильтрующую или хлорофильтрующую рудно-магматическую систему, характерную для месторождений редких, черных или цветных металлов. Как отмечалось выше, габброиды наурузовского, файзуллинского и утлыкташского комплексов обогащены титаномагнетитом и ильменитом, но рудные минералы в них рассредоточены. Рудные элементы — аналоги железа обладают химическим родством к хлору, образуя с ним сложные комплексы в магматической системе [Холоднов, Бушляков, 2002]. Судя по составу апатитов, с габброидами исследуемых комплексов вряд ли может быть связано промышленное Ti-Fe оруденение. На диаграмме F–Cl (рис. 8а) нанесены поля состава апатитов безрудных и рудных пород титаномагнетитового месторождения Малый Куйбас. В сравнении с апатитами из пород данного месторождения апатиты из пород интрузивных комплекс-

сов ЗМЗ отличаются существенно более фтористым составом и пониженной хлористостью.

Исходя из равенства F–Cl–S состава раннемагматического (игольчатого) и позднемагматического (призматического) апатита в породах файзуллинского комплекса следует, что состав флюида был относительно постоянен в течение всего процесса кристаллизации породы, поскольку других первичных минералов-концентраторов галогенов в этих породах не обнаружено. Происходит лишь постепенное накопление фтора (на 10–15 отн. %) в позднемагматических апатитах относительно раннемагматических, поскольку фтор накапливается в расплаве в ходе кристаллизации магм [Бушляков, 1989; Zhang et al., 2012].

Апатиты пород басаевского комплекса отличаются переменчивым химическим составом, причем не только в одном образце, но даже в пределах одного кристалла. На рис. 9 показаны изображения (режим обратно рассеянных электронов) с точками определения апатитов из хлоритизированных амфиболовых долеритов. В четырех зернах апатита на рис. 9а содержания галогенов варьируют в небольших пределах (F 1.42–1.97%, Cl 0.41–0.52%), однако количество серы в одном из зерен резко отличается (SO_3 0.02% против 0.13–0.15% в остальных трех зернах). Аналогичное явление выражено и в другой пробе (рис. 9б), где в одном из кристаллов (точки 25 и 26) содержание серы изменяется более чем в два раза. Сульфидные минералы в этих образцах не обнаружены и резкий скачок в содержании серы в апатитах может быть

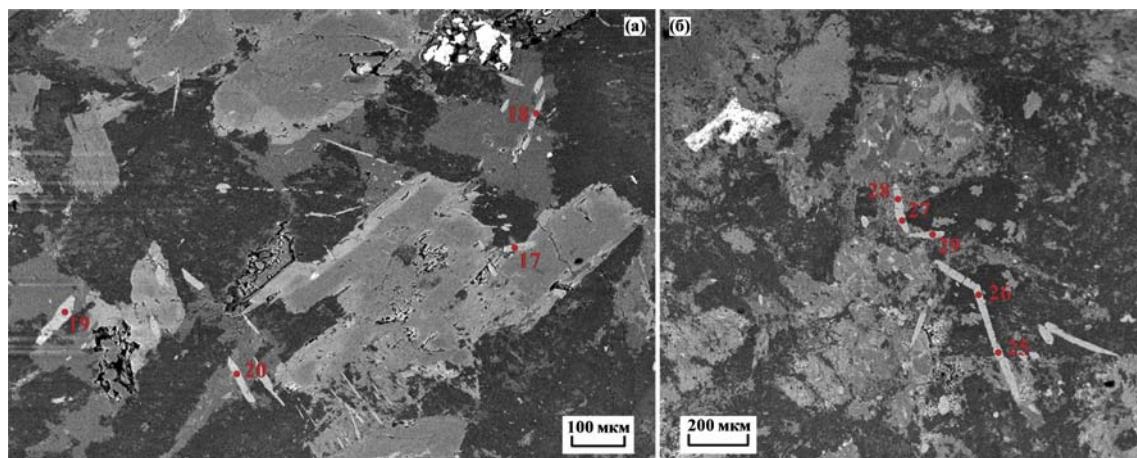


Рис. 9. BSE-изображения апатитов (с точками зондирования) в долеритах басаевского комплекса

Примечание: цифры соответствуют номерам анализов в таблице.

Fig. 9. BSE-images of apatites (with points of probing) in the dolerites of the Basaev complex

Note: numerals correspond to number of analyzes on the table.

связан с дополнительным привносом этого элемента в расплав на определенном этапе кристаллизации из вмещающих пород. Имеются данные о росте концентрации серы в апатите при увеличении ее содержания в расплаве [Parat, Holtz, 2004]. Повышение концентрации серы в расплаве может обусловить накопление в нем некоторых сульфуро-фильных элементов (Au, Ag, Hg, Cu, Pb и др.), в том числе и в краевых частях интрузивного тела. На последнее обстоятельство, в частности, указывают горные выработки, расположенные вдоль контактов интрузий басаевского комплекса с вмещающими породами, которыми отрабатывались золотокварцевые руды [Куваевский и др., 1961ф].

Проведенные исследования показали, что акцессорные апатиты из габброидов позднего девона – раннего карбона Западно-Магнитогорской зоны представлены эвгедральными кристаллами ранне- и позднемагматического происхождения, содержание F и Cl в которых сигнализирует о слабом потенциале Ti-Fe рудоносности этих пород. Лишь некоторые из интрузий басаевского комплекса, в которых обнаружены апатиты с повышенным содержанием серы, потенциально могут нести небольшое золотоносное оруденение. Для четырех изученных габброидных комплексов по содержаниям фтора, хлора и серы можно выделить три группы апатитов: 1) высокофтористые с умеренно повышенным количеством хлора и незначительным количеством серы апатиты пород наурузовского и файзуллинского комплексов; 2) высокофтористые с умеренно пониженным количеством хлора и незначительным количеством серы апатиты утлыкташского и частично басаевского комплексов; 3) пониженофтористые и низкохлористые с повышенным количеством серы апатиты басаевского комплекса.

Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме № 0252-2017-0012 «Магматические системы в истории развития Южного Урала (геодинамические обстановки формирования и металлогеническая специализация)», а также в рамках темы № 0393-2018-0027 государственного задания ИГГ УрО РАН.

Список литературы:

Бушляков И.Н. Галогены в эндогенном петрогенезе: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Свердловск, 1989. – 47 с.

Ефимов А.А., Флерова К.В., Маегов В.И. Первая находка известкового мирмекита (кварц-плагиоклазовых симплектитов) в уральских габбро // Докл. РАН. – 2010. – Т. 435, № 1. – С. 85–90.

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. Petro-geoхимические особенности среднедевонско-раннекаменноугольных островодужных и коллизионных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. – 2006. – № 1. – С. 3–21.

Маракушев А.А. Термодинамическая основа образования парагенезисов химических элементов в процессах глубинного минералообразования // Очерк физико-химической петрологии. – 1975. – Вып. 5. – С. 121–125.

Перчук А.Л., Сафонов О.Г., Сазонова Л.В., Тихомиров П.Л., Плечов П.Ю., Шур М.Ю. Основы петрологии магматических и метаморфических процессов: Учебное пособие. – М.: Университетская книга, 2015. – 472 с.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: Гилем, 2000. – 146 с.

Рахимов И.Р. Геология, петрология и рудоносность позднедевонско-карбонового интрузивного магматизма Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала: Дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Уфа, 2017. – 181 с.

Салихов Д.Н. Средне-позднепалеозойская коллизионная история развития Магнитогорского мегасинклиниория: Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Екатеринбург, 1997. – 85 с.

Холоднов В.В., Бушляков И.Н. Галогены в эндогенном рудообразовании. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 394 с.

Kullerud K. Chlorine, titanium and barium-rich biotites: factors controlling biotite composition and the implications for garnet-biotite geothermometry // Contributions of Mineralogy and Petrology. – 1995. – V. 120. – P. 42–59.

Parat F., Holtz F. Sulfur partitioning between apatite and melt and effect of sulfur on apatite solubility at oxidizing conditions // Contributions of Mineralogy and Petrology. – 2004. – V. 147. – P. 201–212.

Wilson M. Igneous petrogenesis. – Dordrecht: Springer, 1989. – 480 p.

Zhang C., Holtz F., Ma C., Wolff P.E., Li X. Tracing the evolution and distribution of F and Cl in plutonic systems from volatile-bearing minerals: a case study from the Liujiaowa pluton (Dabie orogen, China) // Contributions of Mineralogy and Petrology. – 2012. – V. 164. – P. 859–879.

References:

Bushlyakov I.N. Galogeny v endogennom petrogenezise [Halogenes in the endogenous petrogenesis]: Doc. geol. and min. sci. thes. Sverdlovsk: IGG UrO RAN, 1989. 47 p. (In Russian).

Efimov A.A., Flerova K.V., Maegov V.I. The first find of calcic myrmekite (quartz-plagioclase symplektites) in Uralian gabbro // Doklady Earth Sciences. – 2010. – Т. 435, № 1. – P. 1450–1455.

Kholodnov V.V., Bushlyakov I.N. Galogeny v endogennom rudoobrazovanii [Halogenes in endogenetic mineralization]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2002. 394 p. (In Russian).

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. Petro-geoхимические особенности среднедевонско-раннекаменноугольных островодужных и коллизионных вулканитов Magnitogorskoi zony v geodinamicheskem kontekste [Petrology-geochemical features of Middle Devonian-Early Carboniferous island-arc and collisional volcanites of the Magnitogorsk Zone

in the geodynamic context] // Litosfera. 2006. No. 1. P. 3–21 (In Russian).

Kullerud K. Chlorine, titanium and barium-rich biotites: factors controlling biotite composition and the implications for garnet-biotite geothermometry // Contributions of Mineralogy and Petrology. 1995. V. 120. P. 42–59.

Marakushev A.A. Termodinamicheskaya osnova obrazovaniya paragenezisov khimicheskikh elementov v protsessakh glubinnogo mineraloobrazovaniya [Thermodynamic basement of formation of chemical elements parageneses in the abyssal mineral formation processes] // Ocherk fiziko-khimicheskoi petrologii. 1975. Is. 5. P. 121–125 (In Russian).

Parat F., Holtz F. Sulfur partitioning between apatite and melt and effect of sulfur on apatite solubility at oxidizing conditions // Contributions of Mineralogy and Petrology. 2004. V. 147. P. 201–212.

Perchuk A.L., Safonov O.G., Sazonova L.V., Tikhomirov P.L., Plechov P.Yu., Shur M.Yu. Osnovy petrologii magmatischeskikh i metamorficheskikh protsessov: uchebnoe posobie [Bases of petrology of magmatic and metamorphic processes: tutorial]. M.: Universitetskaya kniga, 2015. 472 p. (In Russian).

Puchkov V.N. Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of Southern and Middle Urals]. Ufa: Gilem, 2000. 146 p. (In Russian).

Rakhimov I.R. Geologiya, petrologiya i rudonosnost' pozdnedevonsko-karbonovogo intruzivnogo magmatizma Zapadno-Magnitogorskoi zony Yuzhnogo Urala [Geology, petrology and mineralization of Late Devonian-Carboniferous magmatism of Western Magnitogorsk Zone in the Southern Urals]: Cand. geol. and min. sci. dis. Ufa: IG UNC RAN, 2017. 181 p. (In Russian).

Salikhov D.N. Sredne-pozdnepaleozoiskaya kollizionnaya istoriya razvitiya Magnitogorskogo megasinklinoriya [Middle-Late Paleozoic collisional history of development of Magnitogorsk Megasyclinorium]: Doc. geol. and min. sci. dis. Ekaterinburg, 1997. 85 p. (In Russian).

Wilson M. Igneous petrogenesis. Dordrecht: Springer, 1989. 480 p.

Zhang C., Holtz F., Ma C., Wolff P.E., Li X. Tracing the evolution and distribution of F and Cl in plutonic systems from volatile-bearing minerals: a case study from the Liujiawa pluton (Dabie orogen, China) // Contributions of Mineralogy and Petrology. 2012. V. 164. P. 859–879.

Сведения об авторах:

Рахимов Ильдар Рашитович, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: rigel92@mail.ru

Холоднов Владимир Васильевич, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии и geoхимии им. академика А.Н. Заварыцкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГУ РАН), г. Екатеринбург. E-mail: holodnov@igg.uran.ru

Салихов Делир Нуздадаевич, доктор геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: magm@ufaras.ru

About the autors:

Rakhimov Ildar Rashitovich, Candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: rigel92@mail.ru

Kholodnov Vladimir Vasilievich, Doctor of geological and mineralogical sciences, The Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (IGG UB RAS), Yekaterinburg. E-mail: holodnov@igg.uran.ru

Salikhov Delir Nurzadaevich, Doctor of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: magm@ufaras.ru

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОДЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2018 г. Р.Ф. Абдрахманов, А.О. Полева, С.А. Валитов

Реферат. В статье анализируются результаты многолетних исследований Павловского водохранилища на р. Уфа. Водохранилище построено в 1959–61 гг. на сильно закарстованных породах. В ходе исследований изучались особенности ионно-солевого, микрокомпонентного, газового составов воды водохранилища, переработка берегов, изучалась также геохимия донных отложений, выполнены натурные экспериментальные исследования по влиянию затопленной древесины на качество воды. Химический состав речных и подземных вод в регионе обусловлен составом пород, слагающих водосборы этих рек. Большая часть водосбора в верховых, где происходит питание рек, сложена слаборастворимыми верхнепротерозойскими, нижнепалеозойскими метаморфическими (в пределах Уральских гор) и нижнепермскими осадочными карбонатно-терригенными (Уфимское плато) породами. И лишь в пределах Юрюзано-Айского понижения в речную сеть разгружаются подземные воды с минерализацией до 2 г/дм³, обогащенные сульфатом кальция, из нижнепермских карбонатно-сульфатных пород. Химический состав воды Павловского водохранилища на всем его протяжении исключительно однороден и характеризуется сульфатно-гидрокарбонатным составом с минерализацией 0.2–0.4 г/дм³. Основными источниками поступления в водохранилище техногенных веществ являются: сельскохозяйственные, коммунальные, промышленные стоки Челябинской, Свердловской, Пермской областей и Башкортостана, водный транспорт, затопленная древесина, и др. Проведенные нами натурные экспериментальные исследования показали, что при попадании древесины в воду на фоне возрастания ХПК и БПК₅ происходит резкое снижение концентрации O₂ и повышение концентрации CO₂ в воде, а также увеличение содержания ионов NH₄⁺, NO₂⁻ и NO₃⁻. Максимальные объемы загрязняющих веществ от затопленной древесины поступают в первые 2–4 года нахождения ее в воде. По численности фитопланктона водоем относится к мезотрофным, по биомассе — к эвтрофным и высокоэвтрофным. В водохранилище сформировалась в основном β-мезосапробная зона. В химическом составе воды отмечены значительные концентрации тяжелых металлов (медь, цинк, железо, никель, хром, мышьяк, ртуть и др.). Поступление их главным образом связано со сбросом стоков промышленными предприятиями Челябинской и Свердловской областей в реки Уфа, Юрюзань, Ай. Результаты многолетних мониторинговых эколого-гидрохимических, гидробиологических исследований ориентированы на охрану и рациональное использование водных ресурсов Павловского водохранилища, т.к. ниже по течению расположены водозаборы г. Уфы и других населенных пунктов.

Ключевые слова: водохранилище, гидрохимия, донные отложения, экологическое состояние, антропогенное загрязнение, биогенные элементы, затопленная древесина

FORMATION OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE PAVLOVSKOE RESERVOIR

R. F. Abdrahmanov, A. O. Poleva, S. A. Valitov

Abstract: The article analyzes the results of long-term studies of Pavlovskoe reservoir on Ufa river. The reservoir was built in 1959–61 on strongly karstified substrate. In the course of the research, the peculiarities of the ionic salt, microcomponents, gas composition of the reservoir water, coastal processes were studied, geochemistry of bottom sediments was also studied, and full-scale experimental studies were conducted

Для цитирования: Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О., Валитов С.А. Формирование химического состава воды и донных отложений Павловского водохранилища // Геологический вестник. 2018. № 3. С. 124–136. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-9>.

For citation: Abdrahmanov R.F., Poleva A.O., Valitov S.A. Formation of the chemical composition of water and bottom sediments of the Pavlovskoe reservoir//Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P.124–136. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-9>.

on the effect of flooded timber on the quality of water. Geochemistry of river and groundwater in the region is due to the composition of the rocks that form the catchments of these rivers. Most of the catchment in the upper reaches, where the rivers feed, is composed of poorly soluble Upper Proterozoic, Lower Paleozoic metamorphic (within the Ural Mountains) and Lower Permian sedimentary carbonate-terrigenous (Ufa plateau) rocks. And only within the Yuruzan-Ai depression, groundwater with mineralization up to 2 g/dm^3 enriched with calcium sulphate, from the Lower Permian carbonate-sulphate rocks, is discharged into the river network. The chemical composition of the water of Pavlovskoe reservoir is extremely homogeneous throughout its entire length and is characterized by sulfate-hydrocarbonate composition with a salinity of $0.2\text{--}0.4 \text{ g/dm}^3$. The main sources of inputs into the reservoir of man-made substances are agricultural, municipal, industrial effluents of the Chelyabinsk, Sverdlovsk, Perm and Bashkortostan provinces, water transport, flooded wood, etc. The field experiments conducted by us have shown that when wood enters the water against the background of an increase in COD and BOD_5 , there is a sharp decrease in O_2 concentration and an increase in the concentration of CO_2 in water, as well as an increase in the content of NH_4^+ , NO_2^- and NO_3^- ions. The maximum volume of pollutants from flooded wood comes in the first 2–4 years of its presence in the water. By the number of phytoplankton, the reservoir refers to mesotrophic, from biomass to eutrophic and highly eutrophic. In the reservoir, the β -mesosaprobic zone was mainly formed. The chemical composition of water indicates significant concentrations of heavy metals (copper, zinc, iron, nickel, chromium, arsenic, mercury, etc.). Their arrival is mainly connected with the discharge of sewage by industrial enterprises of the Chelyabinsk and Sverdlovsk regions into the river Ufa, Yuruzan, Ai. The results of long-term monitoring ecological-hydrochemical, hydrobiological research, are oriented to the protection and rational use of the water resources of the Pavlovskoe reservoir, because downstream there are water intakes of Ufa and other settlements.

Keywords: reservoir, hydrochemistry, bottom sediments, ecological state, anthropogenic pollution, biogenic elements, flooded wood

Введение

Павловское водохранилище, одно из крупных водохранилищ на Южном Урале, расположено на р. Уфе в пределах Уфимского плато. Оно руслового типа, протяженностью 150 км (рис. 1). Это первое водохранилище в СССР, построенное в 1959–61 гг. на сильно закарстованных породах [Лыкошин, 1959].

В пределах этого водохранилища долина р. Уфы прорезает юго-западную часть Уфимского плато, сложенного известняками и доломитами раннепермского возраста. Поверхность плато расчленена сетью глубоковрезанных (до 180–200 м) речных долин и временных водотоков.

Для таких водохранилищ характерны [Ломтадзе, 1977; Абдрахманов, 1991]:

- значительная глубина и малая ширина;
- высокие, большой крутизны склоны, часто представляющие собой обрывы, отвесные стенки;
- сравнительно небольшая площадь водной поверхности;
- большая величина сработки уровней;
- небольшая высота ветровых волн вследствие малой длины разгона; активизация современных геологических процессов (обвалы, карст, осьпи и пр.) вследствие периодического и значительно колебания уровня воды в водохранилище;
- сравнительно малая интенсивность процессов переработки берегов, т.к. они сложены прочны-

ми и неразмываемыми скальными и полускальными породами;

- малая роль вдольбереговых течений в формировании рыхлого материала в береговой зоне, вследствие значительной крутизны и расчлененности берегов и изменчивости направления и скорости ветров и пр.

Объект, материалы и методы исследования

Полный объем водохранилища составляет 1.4, а полезный — 0.95 млрд м^3 . Оно обеспечивает сезонное, недельное и суточное регулирование стока р. Уфы, аккумулируя до 16% весеннего расхода. Площадь водосбора р. Уфы в створе водохранилища составляет 47.1 тыс. km^2 , что равняется 89% водосбора реки. Площадь зеркала водохранилища равняется 116 km^2 при максимальной ширине 1750 м (средняя — 770 м) и глубине 35 м в приплотинной части (средняя 12 м). Годовая амплитуда колебания уровня воды равняется 11 м. Наполнение водохранилища происходит в апреле – мае, а сработка начинается в январе и продолжается до 140 дней. Максимальный спад уровня — 9.5 см/сут. Нормальный подпорный уровень водохранилища — 140 м. Уклон водной поверхности в нижнем течении составляет 4.4×10^{-6} . До строительства водохранилища (1941 г.) минимальный среднемесячный расход реки в год 95% обеспеченности оценивался в $63 \text{ m}^3/\text{s}$; в настоящее

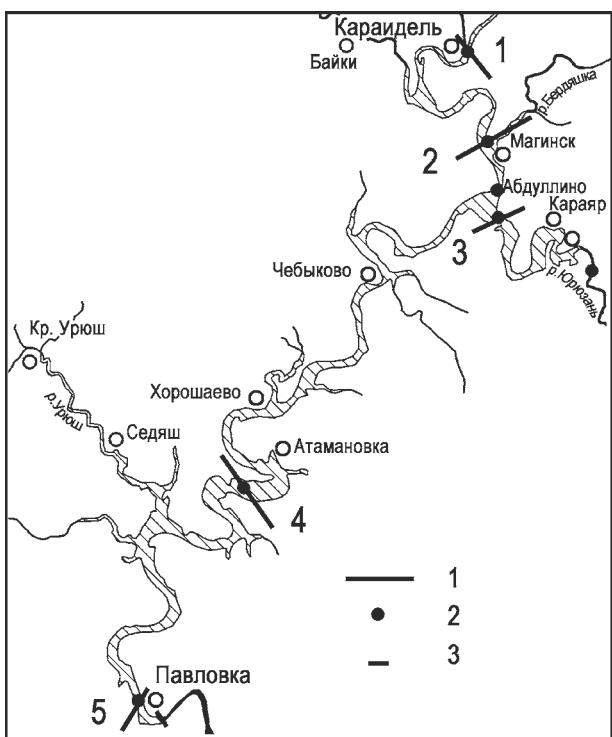


Рис. 1. Схема Павловского водохранилища на р. Уфе
Условные обозначения: 1 — гидрохимические створы водохранилища
2 — места отбора проб донных отложений; 3 — створ плотины.

Fig. 1. Scheme of the Pavlovskoe Reservoir on the Ufa River
Legend: 1 — hydrochemical sections of the reservoir 2 — sites for sampling bottom sediments; 3 — dam gate.

время в створе гидроузла он равен $120 \text{ м}^3/\text{с}$ [Абдрахманов, 1991].

Первые достаточно детальные полевые гидрохимические исследования Павловского водохранилища выполнены нами в 1986–1987 гг. [Абдрахманов, Данилов, Полева и др. «Влияние хозяйственной деятельности на качество водных ресурсов Павловского водохранилища», 1987 г.]. В ходе исследований изучались особенности ионно-солевого, микрокомпонентного, газового составов воды водохранилища¹ (более 500 анализов),

¹ Систематизация химического состава произведена на базе классификации Алекина – Посохова [Алекин, 1970]. В соответствии с ней, при соблюдении неравенства $r\text{Cl} < r\text{Na}$, выделяются тип I (гидрокарбонатный натриевый или содовый) с соотношением $r\text{HCO}_3 > r\text{Ca} + r\text{Mg}$ и тип II (сульфатный натриевый) с соотношением $r\text{HCO}_3 < r\text{Ca} + r\text{Mg}$. В случае, когда $r\text{Cl} > r\text{Na}$, выделяются тип III а (хлормагниевый) с соотношением $r\text{Cl} < r\text{Na} + r\text{Mg}$ и тип III б (хлоркальциевый) с соотношением $r\text{Cl} > r\text{Na} + r\text{Mg}$. Если в воде концентрация HCO_3 равна нулю, то она относится к типу IV. Наименование водам дается по преобладающим анионам и катионам в порядке их возрастания. Преобладающими считаются ионы, содержащиеся в количестве 20% и более при условии, что сумма анионов и катионов равна 100% в отдельности.

переработка берегов. В 1987–2008 гг. и в 2012 г. нами изучалась также геохимия донных отложений. Натурные экспериментальные исследования по влиянию затопленной древесины на качество воды выполнены в 2007 г. на Юмагузинском водохранилище А.О. Полевой под руководством Р.Ф. Абдрахманова.

Аналитические работы произведены в лабораториях аналитического центра ФГУ по мониторингу водных объектов бассейнов рек Белой и Урала, Республиканской СЭС, ПГО «Башкиргеология», института «Башгипроводхоз», «Башгидромета», и др. Исследования автотрофного фитопланктона и бентоса проводились А.О. Полевой в 2003, 2007–11 гг. на аналитической базе Башгосуниверситета. Химический состав, содержание тяжелых металлов донных отложений проанализированы в лабораториях ИГ УФИЦ РАН.

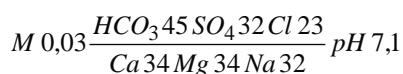
Формирование химического состава воды

Химический состав воды Павловского водохранилища формируется под влиянием природных и техногенных факторов. Природные факторы формируют общий химический (макро- и микрокомпонентный) состав и, как следствие, минерализацию воды. Влияние техногенеза в целом слабо отражается на макрокомпонентном составе, и наоборот — микрокомпонентный состав в настоящее время почти всецело определяется им [Абдрахманов, 1991, 1994]. В значительной степени химический состав воды определяется составом вод рек, питающих водохранилище — Ай, Юрзань, Сарс, Тюй, Урюш, а также ряд более мелких притоков. Значительна роль в этом также подземных карстовых вод, разгружающихся непосредственно в водохранилище.

Химический состав речных и подземных вод обусловлен составом пород, слагающих водосборы этих рек. Большая часть водосбора в верховьях, где происходит питание рек, сложена слаборастворимыми верхнепротерозойскими, нижнепалеозойскими метаморфическими (в пределах Уральских гор) и нижнепермскими осадочными карбонатно-терригенными (Уфимское плато) породами. И лишь в пределах Юрзано-Айского понижения в речную сеть разгружаются подземные воды с минерализацией до $2 \text{ г}/\text{дм}^3$, обогащенные сульфатом кальция, из нижнепермских карбонатно-сульфатных пород.

На геохимический облик подземных вод зоны гипергенеза, кроме ландшафтно-климатических

особенностей, решающее влияние оказывает минеральный состав водовмещающих пород, дренируемых реками в пределах местных областей питания и разгрузки. Наименее минерализованные ультрапресные воды ($M = 30-80 \text{ мг/дм}^3$) характерны для геохимически малоактивных сред: кварцитов, кварцевых песчаников, кремнистых и слюдисто-кварцевых сланцев. Содержание в породах SiO_2 достигает 70–95%. Однако при их выщелачивании в нормальных PT -условиях вследствие очень низкой растворимости кремнезема ($n \text{ мг/дм}^3$) силикатные или силикатно-гидрокарбонатные воды не образуются. Циркулирующие в этих породах воды имеют сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатный, реже хлоридно-гидрокарбонатный или смешанный (трехкомпонентный) анионный состав. Среди катионов преобладают кальций и натрий, нередко к числу главных ионов (>20%) принадлежит и магний. Солевой состав большинства проб ультрапресных вод представлен $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (до 50–70%). В водах всегда присутствуют сульфаты в количестве 10–30, иногда до 60%. Основной вклад в формирование минерализации этих ультрапресных вод вносит гидрокарбонатный ион (10–50 мг/дм³), который имеет в основном биохимическую природу. Значимую роль в поступлении других ионов, содержащихся в невысоких концентрациях, играют атмосферные осадки. Воды чаще всего относятся к типу II, реже — IIIa или I, но выраженному слабо ($\text{NaHCO}_3 < 15\%$). Иллюстрацией сложного химического состава вод служит источник, вытекающий из кварцитов верхнего протерозоя:



Таким образом, гидролитические процессы в алюмосиликатных и силикатных породах Южного Урала, где происходит формирование химического состава и питание речных вод, ведут к образованию гидрокарбонатных вод разнообразного катионного состава с низкой минерализацией. Среди них более простой (монокатионный) состав обычно имеют гидрокарбонатные магниевые, реже кальциевые воды. Следствием гидролитических процессов служат каолиновые коры выветривания по магматическим и метаморфическим породам алюмосиликатного состава [Абдрахманов, Попов, 2010; Попов, Абдрахманов, 2013; Абдрахманов, 2014].

В Центрально-Уральском поднятии трещинно-карстовые воды приурочены к известнякам

и доломитам миньярской, катаевской, авзянской и саткинской свит рифея (Башкирский бассейн), а также к карбонатным отложениям нижней перми на Уфимском плато. Карст здесь относится к классу покрытого или подэлювиально-делювиального. Проникновение инфильтрующихся атмосферных осадков в карбонатные толщи, в отличие от голого карста, происходит через почвы и глинистые породы зоны аэрации, способствующие, как указывалось, генерации биохимического CO_2 и усилиению агрессивности вод.

В геохимическом отношении карстовые воды Башкирского бассейна мало чем отличаются от таковых Уфимского плато. Они обычно имеют минерализацию 0.2–0.4 г/дм³, гидрокарбонатный кальциевый и магниево-кальциевый состав. Отличительной же чертой их служит то, что при разгрузке в карстовые бассейны вод из окружающих магматических и метаморфических образований появляются воды с химическим составом, не свойственным карбонатным породам. Так, в Белорецком карстовом бассейне в зоне литолого-гидрогеохимического влияния ультрабазитов трещинно-карстовые воды карбонатных толщ приобретают гидрокарбонатный магниевый состав. В отдельных случаях в известняковых толщах также обнаруживаются воды содового типа, изначально формирующиеся в алюмосиликатных породах.

Химический состав воды Павловского водохранилища на всем его протяжении (от с. Мулла-каево до пос. Павловка) исключительно однороден и характеризуется сульфатно-гидрокарбонатным составом (табл. 1).

По классификации Алекина – Посохова вода Павловского водохранилища относится к типу II. Минерализация ее в верховье (с. Мулла-каево), где начинается подпор на р. Уфе, составляет 0.41 г/дм³. Вниз по течению минерализация воды постепенно снижается и у плотины (пос. Павловка) она не превышает 0.21–0.26 г/дм³, т.е. происходит двукратное разбавление. В пределах наиболее глубокой части водохранилища минерализация в течение года меняется незначительно: 0.21 весной и 0.36 г/дм³ зимой. В весеннее время в заливах крупных рек (Уфа, Юрзянка) и устьях небольших — минерализация снижается до 0.11–0.13 г/дм³ при неизменном химическом составе.

Содержание основных ионов (мг/дм³): гидрокарбонат — 117.8–220.0; сульфат — 37.1–86.4; хлор — 3.5–7.3; кальций — 40.3–76.0; магний — 7.3–19.4, натрий и кальций — 4.8–9.7. Из биогенных элементов отмечено присутствие в воде

аммонийного азота ($0.1\text{--}0.3 \text{ мг/дм}^3$), нитратов ($1\text{--}3.6 \text{ мг/дм}^3$). По данным Башгидромета в отдельные годы содержание азота аммонийного составляло 3 иногда 17 ПДК, азота нитритного 1–10 ПДК.

Вода слабошелочная ($\text{рН} = 7.6\text{--}8.3$). Окислительно-восстановительные условия характеризуются величиной $\text{Eh} +279 \text{ мВ}$ в верхней зоне водохранилища, $+115 \text{ мВ}$ в средней; в придонной зоне и в

Химический состав воды Павловского водохранилища

The chemical composition of the water of the Pavlovskoe reservoir

Таблица 1

Table 1

№ п/п	Место отбора	Глубина, м	рН	M, г/дм ³	Ингредиенты, мг/дм ³ , мг-экв, %-экв						Индекс состава
					HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	
1	Муллакаево	3,0	7,75	0,41	220 3,6 64,8	83,4 1,74 31,2	7,1 0,20 3,6	71,7 3,58 64,3	19,4 1,60 28,7	9,0 0,39 7,0	SC _{II} ^{MgCa}
2	Караидель	3,0	7,70	0,41	215 3,53 64,0	86,7 1,80 32,6	6,9 0,19 3,4	76,0 3,76 68,5	15,9 1,31 23,9	9,7 0,42 7,6	SC _{II} ^{MgCa}
3	Залив р.Байки	2,0	7,80	0,37	200,8 3,29 65,8	71,3 1,49 29,8	7,0 0,2 4,0	66,3 3,31 66,2	15,8 1,30 26,0	9,0 0,39 7,8	SC _{II} ^{MgCa}
4	Залив р.Юрюзань	3,5	7,65	0,34	203 3,32 73,8	45,6 0,95 21,1	7,4 2,1 4,7	60,1 3,0 66,8	14,5 1,19 26,5	6,9 0,3 6,7	SC _{II} ^{MgCa}
5	Хорошаево	5,0	7,65	0,33	176,3 2,89 64,8	65,3 1,36 30,5	7,0 0,2 4,5	64,3 3,2 72,0	11,0 0,9 20,2	8,0 0,35 7,8	SC _{II} ^{MgCa}
6	Залив р.Калтаса	6,0	7,70	0,27	145,8 2,39 64,8	52,8 1,10 29,8	7,1 0,2 5,4	50,3 2,51 68,0	11,0 0,9 24,4	6,2 0,27 7,6	SC _{II} ^{MgCa}
7	0,5 км выше плотины правый берег	0,5	8,25	0,25	139,1 2,28 66,3	46,1 0,96 27,9	7,0 0,2 5,8	44,3 2,21 64,2	11,0 0,90 26,2	7,6 0,33 9,6	SC _{II} ^{MgCa}
8	0,5 км выше плотины правый берег	10,0	7,95	0,25	148,3 2,43 68,8	43,7 0,91 25,8	6,7 0,19 5,4	48,7 2,43 69,0	9,9 0,81 23,0	6,4 0,28 8,0	SC _{II} ^{MgCa}
9	Середина	0,5	8,25	0,25	141,0 2,31 66,9	45,1 0,94 27,3	7,1 0,2 5,8	43,9 2,19 63,5	12,1 1,0 29,0	6,0 0,16 7,5	SC _{II} ^{MgCa}
10	Середина	12,0	8,10	0,25	137,3 2,25 65,0	48,5 1,01 29,2	7,1 0,2 5,8	47,9 2,39 69,1	9,7 0,8 23,1	6,2 0,27 7,8	SC _{II} ^{MgCa}
11	Левый берег	0,5	8,3	0,24	128,1 2,1 62,7	50,4 1,05 31,3	7,1 0,2 6,0	44,1 2,20 65,5	11,0 0,9 26,8	6,0 0,26 7,7	SC _{II} ^{MgCa}
12	Левый берег	10,0	8,15	0,26	134,4 2,17 62,2	53,3 1,11 31,8	6,9 0,2 5,7	46,1 2,30 66,1	11,0 0,9 25,9	6,4 0,28 8,0	SC _{II} ^{MgCa}

слабых неуплотненных илах (июль) Eh снижается до +7...—65 мВ. В придонной зоне (илах) отмечается запах сероводорода от слабого до сильного. Соответственно меняется содержание кислорода (рис. 2). Концентрация растворенного кислорода в поверхностных условиях колеблется ($\text{мг}/\text{дм}^3$) от 6.66 до 16.3 (средняя 11.97 ± 0.13), а ХПК от 7.62 (зимняя межень) до 69 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (летняя). Наблюдается изменение содержания кислорода с глубиной. Концентрация его в летнее время уменьшается от 10.71 $\text{мг}/\text{дм}^3$ (на глубине 1 м), до 5.04 (18 м), а в придонной части близка к нулю, чем по нашим наблюдениям в отдельные годы вызвана гибель донных рыб.

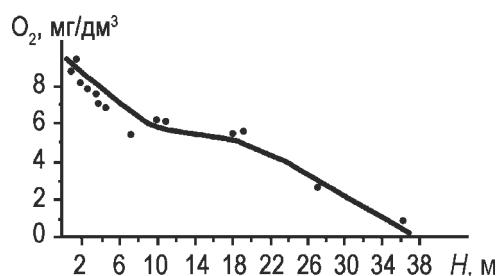


Рис. 2. График зависимости содержания кислорода от глубины в воде Павловского водохранилища

Fig. 2. O₂ concentration vs. depth in the Pavlovskoe Reservoir

Основными источниками поступления в водохранилище техногенных веществ являются: сельскохозяйственные, коммунальные, промышленные стоки Челябинской, Свердловской, Пермской областей и Башкортостана, затопленная древесина и др.

Нашими исследованиями 1986–87 гг. было определено, что общее количество биогенных элементов от сельского хозяйства, попадающих ежегодно в водохранилище — 15700 т, в т.ч. азота — 8300, фосфора — 1900, калия — 5500. В виде коммунально-бытовых стоков при общем количестве населения около 0.5 млн чел. в водохранилище поступало 252 т азота, 111 т фосфора и 56 т калия. Общая сумма равнялась 419 т. Оценить объемы их за последние годы затруднительно, т.к. комплексных работ по оценке хозяйственной деятельности изучаемого региона не проводилось.

В бассейне Павловского водохранилища многие годы практиковался молевой сплав древесины, по акватории водохранилища транспортировка леса осуществлялась в плотах. Такой вид транспортировки древесины традиционно сопровождается потерями (были случаи затопления плотов цели-

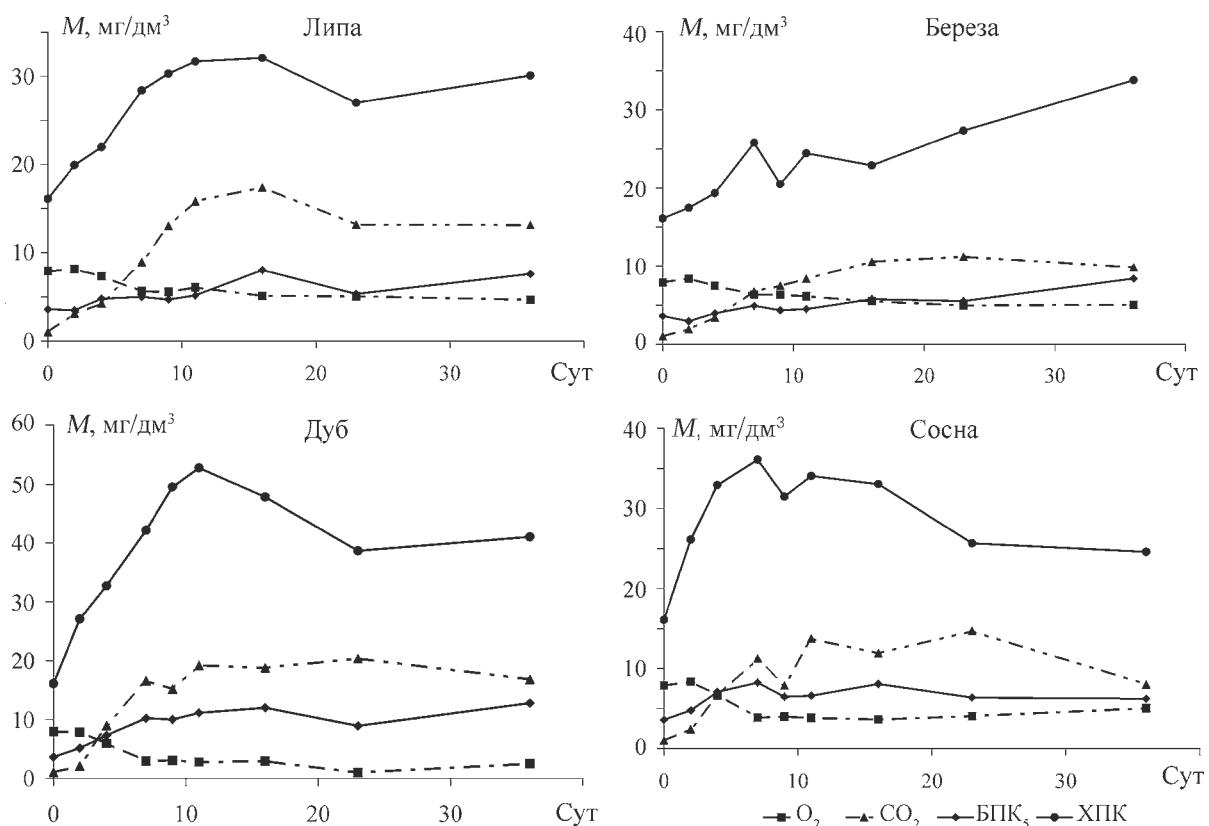
ком). По нашим данным, объем затопленной древесины составляет около 0.8–1 млн м³. В 1991 г. (в том числе благодаря нашим исследованиям) сплав древесины в бассейне Павловского водохранилища был прекращен. В последние годы объемы лесозаготовок и лесопереработки в этом районе снизились, некоторые предприятия закрыты.

Проведенные нами натурные экспериментальные исследования по воздействию затопленной древесины на качество воды [Абдрахманов и др., 2008, 2014; Полева, 2009] показали, что древесина при попадании в воду оказывает существенное влияние на газовый режим водоема и поступление в него биогенных веществ (рис. 3, 4). При попадании древесины в водную среду на фоне возрастания ХПК и БПК₅ происходит резкое снижение концентрации O₂ и повышение концентрации CO₂ в воде. В начальный период затопленная древесина вызывает увеличение содержания ионов NH₄⁺, NO₂⁻ и NO₃⁻.

Максимальные объемы загрязняющих веществ от затопленной древесины поступают в первые 2–4 года нахождения ее в воде. Затем интенсивность поступления загрязняющих веществ замедляется. Результаты исследований влияния затопленной древесины на водную среду отмечены как важнейшие научные достижения РАН (по Отделению Наук о Земле, 2008): «...Сформулированы основные закономерности формирования гидрологического и гидрохимического режимов водохранилищ Уральского региона в начальный период эксплуатации. Выявлено, что влияние затопленной древесной растительности на гидрохимический режим ... имеет место в течение не менее 20 лет...».

Поступление в водоемы биогенных элементов, которые в большинстве случаев являются лимитирующими для водной растительности, вызывает бурный рост первичной биопродукции в водоемах и резкое ухудшение качества воды.

Прозрачность воды в течение года меняется от 0.9–1.5 (весной и летом) до 3–4 м (осенью). Весной прозрачность падает из-за поступления большого количества взвешенных частиц, а летом — в результате массового размножения в фитопланктоне цианопрокариот из родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria*. Это резко снижает санитарно-гигиенические свойства водоема. Качество воды ухудшается в основном за счет перегрузки его органическим веществом автохтонного происхождения и наличия специфических токсинов, которые выделяются синезелеными водорослями в процессе жизни и при их отмирании.

Рис. 3. Динамика концентрации О₂, СО₂, БПК₅, ХПК в опытах с древесной растительностью (СУТ — суток)Fig. 3. Concentration dynamics of O₂, CO₂, BOD₅, and COD experiments with wood vegetation (СУТ — days)

За период исследования — 2003–2009 гг. в фитопланктоне нами выявлено 153 вида и внутривидовых таксона (ввт) водорослей и цианопрокариот из 90 родов, 47 семейств, 24 порядков, 10 классов и 7 отделов [Полева, 2009; Абдрахманов и др., 2014]. Средняя численность автотрофного планктона в водохранилище в вегетационный период составила (тыс. кл/дм³): в 2008 г. — 5384, в 2009 г. — 14377. По численности водоем относится к мезотрофным. В 2008 г. средняя биомасса составила 6.4 г/м³, в 2009 г. — 19.5 г/м³. По биомассе в 2008 г. относился к эвтрофным, в 2009 г. — к высокоэвтрофным. В водохранилище сформировалась в основном β-мезосапробная зона. В 2008 г. индекс сапробности по численности в среднем составил 2.09±0.09, по биомассе 1.82±0.05. В 2009 г. по численности — 1.25±0.25, по биомассе 1.80±0.10. В автотрофном бентосе Павловского водохранилища нами было выявлено 76 видов и ввт. Ведущими по числу видов являются отделы Bacillariophyta — 49 и Cyanoprokaryota — 13 видов и ввт.

В химическом составе воды отмечены значительные концентрации тяжелых металлов (медь,

цинк, железо, никель, хром, мышьяк, ртуть, соединения серы). Поступление их главным образом связано со сбросом стоков промышленными предприятиями Челябинской и Свердловской областей в реки Уфа, Юрзань, Ай (табл. 2). Как видно из таблицы, наиболее крупными загрязнителями являются предприятия городов Златоуста, Катав-Ивановска, Уфалея, Юрзани и др. [Абдрахманов и др., 1987 г.]. Выполненным Башгидрометом в последние годы наблюдениями отмечено устойчивое превышение ПДК меди и цинка до одного, иногда до двух порядков на гидропостах Карайдель, Абдуллино, Павловка.

Сброс в последние годы в связи с остановками промышленных предприятий значительно сократился. Но актуальные данные по этим компонентам оценить затруднительно.

В отличие от органических загрязняющих веществ, подверженных в той или иной мере степени деструкции, тяжелые металлы не способны к подобным превращениям. Они могут лишь перераспределяться между отдельными компонентами водных экосистем — водой, донными отложениями

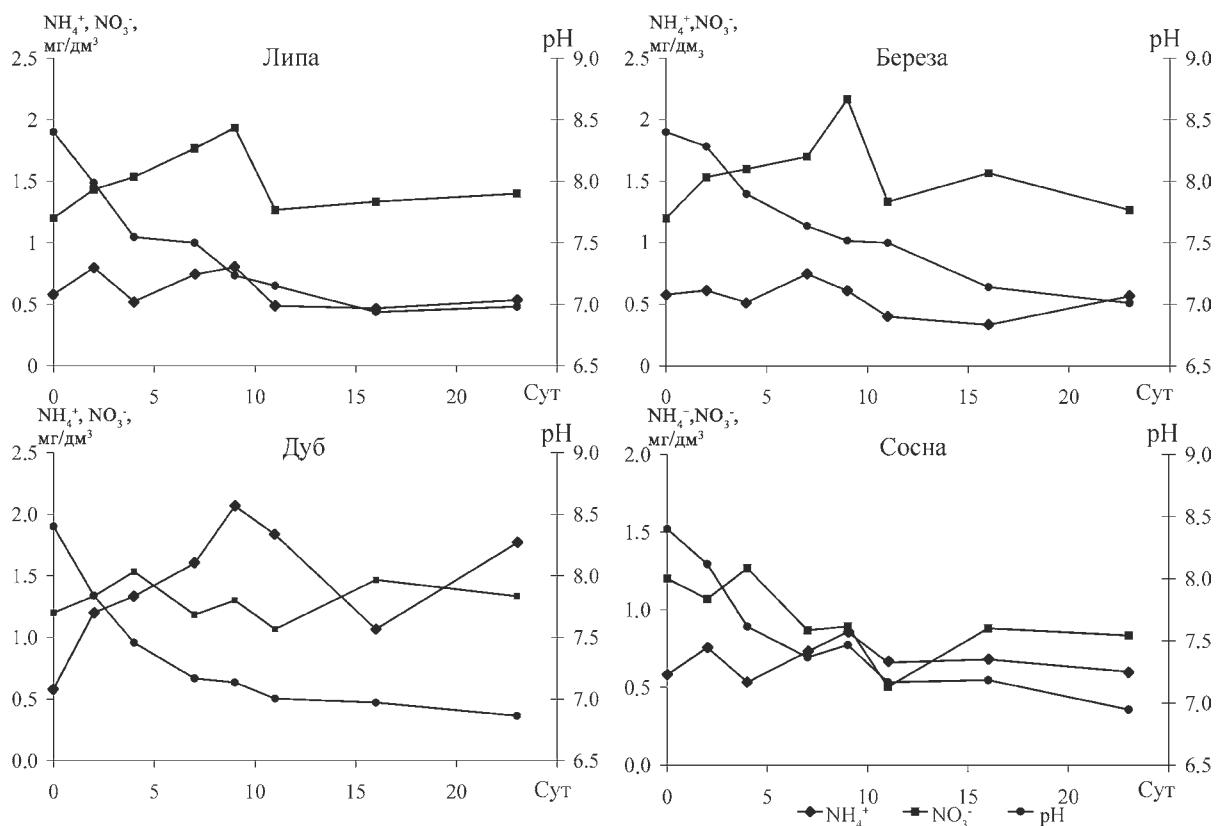


Рис. 4. Динамика биогенных элементов (NH_4^+ , NO_3^-) и рН в опытах с древесной растительностью (СУТ — суток)

Fig. 4. Dynamics of biogenic elements (NH_4^+ , NO_3^-) and pH in experiments with wood vegetation (СУТ — days)

и биотой. Поэтому их необходимо рассматривать как постоянно присутствующие в экосистеме вещества. Совсем недавно исследования тяжелых металлов в поверхностных водоемах сводились только к определению валового их содержания. Однако такая оценка малообоснована, т.к. биологическая активность и химическая реакционная способность в природных водах определяются в значительной степени их состоянием — всей совокупностью сосуществующих физических и химических их форм (ионным потенциалом химических элементов, величиной pH и Eh, адсорбционными свойствами донных отложений и пр.). Наибольшей токсичностью обладают разнообразные металлоорганические соединения, способные проникать через клеточную мембрану.

В связи с этим необходимо изучение в воде Павловского водохранилища потенциальной возможности комплексообразования органических веществ и тяжелых металлов, так как при определенных условиях так называемая «подвижная» часть соединений металлов может переходить из твердой фазы в водную и служить очагом вторичного загрязнения.

Таблица 2
Виды и объемы загрязняющих веществ, поступивших в реки в бассейне Павловского водохранилища за год

Table 2
Types and volumes of pollutants that enter rivers in the Pavlovskoe reservoir basin for the year

Компоненты	р. Уфа	р. Ай	р. Юрзань
Нефтепродукты, т	123.8	148.3	23.3
Сульфаты, т	706.8	3639.2	829.0
Железо, т	5.6	11.7	9.9
Медь, кг	301.6	76.1	486.0
Цинк, кг	15313.0	344.0	83.7
Никель, кг	362.0	16.6	540.0
Хром, кг	8.8	431.0	1264.9
Мышьяк, кг	28.5		
Ртуть, кг	16.6		

В воде определены повышенные концентрации нефтепродуктов — от 1.05–1.84 (залив Байки, Бердяшка, Юрзань) до 7.83 мг/дм³ (створ

с. Карайдель), что превышает ПДК от 21 до 156 раз (ПДК = 0.05 мг/дм³), фенолов — 2–96 ПДК (ПДК = 0.001 мг/дм³), соединений азота (аммонийного — 3–17, нитритного — 1–10 ПДК). Все эти показатели не постоянны, они многократно меняются в течение года, вплоть до исчезновения, особенно изменчивы концентрации нефтепродуктов и азотистых соединений.

Переработка берегов и формирование донных отложений

Процесс формирования донных отложений Павловского водохранилища происходит непрерывно в течение всего времени его существования. В эти отложения попадают продукты переработки берегов, а также взвешенный материал, приносимый большими и малыми реками.

Берега водохранилища преимущественно выпуклые, крутые (около 20–40°), на отдельных участках отвесные (Айдосская, Верхнеельдякская, Угрюмовская горы, 12 апостолов и др.), высотой до 30–40 м, сложенные светло-серыми, кремнистыми известняками от массивного до тонкослоистого строения. Крутье коренные берега перекрыты маломощным (0.5–1.0 м) почвенно-делювиальным чехлом с обломками коренных пород и залесены. Такие берега составляют до 70–80% от всей береговой линии и относятся к типу I (рис. 5). Эти берега практически не подвергаются размыву. Под действием волн лишь смывается почвенно-делювиальный чехол на высоту 0.5–2.5 м, редко до 5–6 м выше уреза воды.

Берега II типа составляют около 10% от всей береговой линии. Здесь разрушаются участки берега, сложенные делювиальными отложениями. Мощность делювия на этих пологих склонах долины р. Уфы чаще составляет 2–3 м, реже до 10 м. Поэтому интенсивность переработки на таких участках небольшая (р-н сел Новое Муллакаево, Уразбахты, устье р. Юрязань, между 2–3, 11–14, 55–56 км и др.). Переработка берегов происходит главным образом под влиянием волнового процесса.

Наиболее интенсивной переработке подвергаются берега с развитым пойменно-террасовым комплексом (см. рис. 2, типы III и IV). Получили они распространение в районе сел Старое Муллакаево, Уразбахты, Карайдель, правый берег на 75 км, левый берег от 66 до 68 км. Охватывают 10–15% береговой линии. В разрезе террас хорошо выделяется два слоя пород: верхняя часть сложена

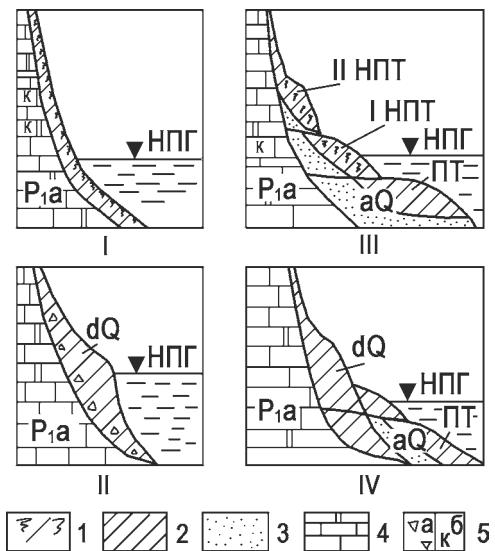


Рис. 5. Типы строения берегов Павловского водохранилища на разных участках затопления

Условные обозначения: 1–4 — породы: 1 — почвогрунты; 2 — глины, суглинки, супеси; 3 — песчано-гравийные отложения; 4 — известняки, доломиты; 5а — обломки пород; 5б — окремненность; НРГ — нормальный подпорный горизонт уровня воды; террасы: ПТ — пойменная, НПТ — надпойменная.

Fig. 5. Types of the structure of the shores of the Pavlovskoe reservoir at different sites of flooding

Legend: 1–4 — rocks: 1 — soil; 2 — clays, loam, sandy loam; 3 — sand and gravel deposits; 4 — limestones, dolomites; 5a — fragments of rocks; 5b — silicification; NPG — normal retaining horizon of water level; terraces: PT — floodplain, NPT — floodland.

коричневато-бурыми, желтоватыми суглинками четвертичного возраста, часто переходящими в супеси или тонкозернистые пески мощностью 5–8 м. Под ними залегают гравийно-галечниковые отложения с песчано-суглинистым заполнителем (мощностью до 10 м). Переработке в верхнем течении подвергается первая надпойменная терраса, а в нижнем — уже вторая и более высокие террасы. Скорость переработки берегов составляет 0.2–0.8 м/год (пос. Магинск, с. Хорошаево и др.), а в районе с. Старое Муллакаево достигает 2.5 м/год.

За время существования водохранилища (50 лет) образовался слой осадков мощностью до 2 м. Кроме минеральных отложений в донных образованиях обнаружено значительное количество затонувшей древесины. Древесина, пролежавшая на дне несколько лет, внутри имеет желтый цвет, а с поверхности — темный (черный) и издает сильный запах сероводорода.

В береговой зоне водохранилища, до глубины 10–12 м, ил слабоуплотненный, серовато-

коричневый, а в середине (глубина 20–35 м) зеленовато-серый. Верхний слой (0.2–0.35 м) в глубоких частях водохранилища рыхлый, слабый, а ниже — плотный, вязкий. Плотность донных отложений, отобранных с глубины 0.5 м при столбе воды 27.5 м, составляет 2.65 г/см³. Гранулометрический состав их представлен (%): глинистыми фракциями (менее 0.001 мм) — 36.5, пылеватыми (0.05–0.001) — 54.5, песчаными (0.25–0.05) — 9. Содержание органических веществ в илах составляет 28.9%. Как свидетельствуют данные водных вытяжек донных отложений, они слабоминерализованы (0.09–0.16 г/100 г), имеют гидрокарбонатный и сульфатно-гидрокарбонатный состав. Относятся к типу I (содовому), слаботщелочные (рН 7.25–7.45), окислительно-восстановительные условия характеризуются показателем Eh от +6.96 до –65 мВ. В составе донных отложений присутствует аммоний (3–5 мг/100 г), в небольшом количестве нитриты (0.35–0.49 мг/100 г). Содержание отдельных компонентов составляет (мг/100 г): кальция — 0.8–5.4, магния — 0.7–1.7, натрия и калия — 21.2–36.8, гидрокарбоната — 32.0–106.8, сульфата — 4.7–26.5, хлора — 1.77–3.6 [Абдрахманов, 1991].

Исследованиями в 2012 г. химического состава донных отложений в 500 м выше плотины на глубине 25 м установлено, что по сравнению с 1987 г. минерализация несколько увеличилась — от 0.10–0.12 до 0.13–0.28 г/100 г (табл. 3). Состав вытяжек изменился от I (содового) в IIIa (хлормагниевый), т.е. от гидрокарбонатного натриевого в гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый, что вызвано техногенным влиянием. Химический состав донных отложений (табл. 4) на 50–73.5% представлен SiO₂,

Другие компоненты (Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, Na₂O, TiO₂ и пр.) не превышают 0.06–7.2%. Механический состав представлен на 41–55% глинисто-илистым составом. Содержание пылеватых фракций 30–31.5%, а песчаных 13.0–29.0%. Содержание органических веществ — 11.7–13.1%.

Первые исследования содержания тяжелых металлов в донных отложениях (в 1987 г.) показали присутствие их в достаточно высоких концентрациях (мг/кг): цинка (35–45), лития (20–25), свинца (2.4–5), меди (до 13) и хрома (2–4). Результаты исследований в 2012 г. приведены в табл. 5. Валовое содержание тяжелых металлов составляет (мг/кг): цинка (36.9–41.7), свинца (4.1–4.5), меди (12.8–15.9), хрома (0.64–0.68). Подвижная часть их составляет (мг/кг): цинка (5.4–11.6), свинца (1.0–1.4), меди (0.7–1.2), хрома (0.2–3.3). По сравнению с 1987 г. резкого увеличения не наблюдается. Это, видимо, объясняется тем, что в последние 15–20 лет резко снизился сброс тяжелых металлов в реки Уфа, Ай, Юрюзань промышленными предприятиями Челябинской и Свердловской областей. Содержание их близко к показателям тяжелых металлов в Волжских водохранилищах [Кочарян и др., 2003].

Заключение

Интерес к изучению влияния техногенеза на качество воды Павловского водохранилища вызван не только тем, что он отрицательно влияет на рыбное хозяйство водохранилища, рекреационную зону в этом районе, работу сооружений гидроузла и пр., а главным образом — влиянием на качество воды уфимских водозаборов, расположенных ниже.

Таблица 3

Химический состав водных вытяжек донных отложений Павловского водохранилища
Table 3

Chemical composition of water extracts of bottom sediments of Pavlovskoe reservoir

№ пробы	M, мг/100 г	рН	Ингредиенты, (%, мг/экв, %экв)						Индекс состава
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	
1	0.129	7.20	0.034	0.067	0.006	0.034	0.005	0.0004	<i>CS_{IIIa}^{Ca}</i>
			0.560	1.388	0.170	1.700	0.400	0.018	
			26.5	65.5	8.0	80.2	18.9	0.9	
2	0.282	7.24	0.023	0.187	0.006	0.060	0.017	0.0007	<i>S_{IIIa}^{MgCa}</i>
			0.376	3.889	0.164	3.000	1.400	0.029	
			8.5	87.8	3.7	67.7	31.6	0.7	
3	0.220	7.35	0.027	0.140	0.006	0.044	0.016	0.0006	<i>S_{IIIa}^{MgCa}</i>
			0.450	2.912	0.164	2.200	1.300	0.026	
			12.7	82.6	4.7	62.4	36.9	0.7	

Таблица 4

Химический состав донных отложений
Павловского водохранилища (масс. %)

Table 4

Chemical composition of bottom sediments
of Pavlovskoe reservoir (mass. %)

№ п/п*	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ППП	Сумма
1	66.04	1.09	9.17	3.58	0.22	0.06	5.68	2.20	1.00	1.71	0.02	7.98	99.71
2	73.52	0.67	8.33	2.80	0.50	0.07	1.42	1.80	1.00	1.35	0.08	7.70	99.24
3	67.79	0.54	6.46	2.88	0.22	0.06	7.10	1.20	0.50	1.35	0.02	11.30	99.42
4	69.13	0.67	8.75	2.50	0.50	0.07	7.20	1.25	1.21	1.74	0.04	6.70	99.67
5	50.00	0.70	17.40	6.70	1.60	0.10	2.27	2.80	1.07	1.20	0.20	15.60	99.64
6	50.70	0.70	17.00	4.35	2.14	0.10	2.27	3.40	1.00	0.54	0.20	17.30	99.70
7	55.00	0.70	16.81	1.00	1.80	0.11	1.70	3.20	1.27	0.54	0.20	17.30	99.65

Примечание: * Места отбора: 1 — р. Юрюзань, 10 км выше устья, 2 — устье р. Юрюзань, 3 — Магинск, 4 — Янсайтово, 5, 6, 7 — 0.5 км выше плотины.

Note: * Places of selection: 1 — Yuryuzan river, 10 km above the mouth, 2 — the mouth of the Yuryuzan river, 3 — Maginsk, 4 — Yansaitovo, 5, 6, 7 — 0.5 km above the dam.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях
Павловского водохранилища (мг/кг)

Table 5

The concentrations of heavy metals i
n bottom sediments (mg/kg)

Элемент	Проба 1		Проба 2		Проба 3		ПДК в почве	
	Валовая	Подвижная	Валовая	Подвижная	Валовая	Подвижная	Валовая	Подвижная
Pb	4.18	1.13	4.53	1.36	4.45	0.96	130.0	6.0
Cu	12.84	0.89	15.77	0.74	15.94	1.16	132.0	3.0
Zn	36.86	5.40	38.78	11.63	41.76	5.49	220.0	23.0
Ni	33.49	2.61	35.20	10.56	36.43	3.45	80.0	4.0
Co	3.61	0.20	3.67	1.10	3.63	0.59	40.0	5.0
Cr	0.68	0.56	0.66	0.20	0.64	3.28	—	—

С проблемой охраны от загрязнения поверхностных вод р. Уфы неразрывно связано качество и количество ресурсов аллювиального водоносного горизонта долины, который каптирован несколькими водозаборами инфильтрационного типа (северный и южный водозаборы г. Уфы и другие) для обеспечения крупного централизованного водоснабжения. Высокая производительность таких водозаборов объясняется, с одной стороны, хорошими фильтрационными свойствами аллювия и значительными эксплуатационными запасами подземных вод, а с другой — наличием тесной гидравлической связи аллювиального горизонта с рекой Уфа, которые служат надежным источниками

ком восполнения запасов подземных вод. Количество речных вод, поступающих в скважины инфильтрационного забора, в зависимости от проницаемости аллювиальных отложений, колеблется в широких пределах и может достигать 70–80% общей производительности водозабора этого типа.

В ходе миграции к водозабору за счет различных физико-химических процессов происходит улучшение качества речной воды: освобождение от механических примесей и патогенных микроорганизмов, снижение содержания некоторых компонентов, главным образом органического происхождения. Особую роль при оценке качества

воды инфильтрационных водозаборов играют фенолы, которые относятся к токсичным веществам и, кроме того, даже в небольших концентрациях придают воде специфический запах, усиливающийся при хлорировании. Присутствие в воде рек различных органических соединений сверх допустимых норм является одним из основных факторов, ограничивающих создание в их долинах высокопроизводительных инфильтрационных водозаборов. Чрезвычайные происшествия, которые имели место на южном водозаборе г. Уфы в 1990 г., когда содержание фенолов, диоксинов и других высокотоксичных органических веществ достигало десятков и сотен ПДК¹, свидетельствуют о том, насколько актуальна охрана водных ресурсов бассейна р. Уфы от загрязнения. Считаем необходимым продолжить исследования, имеющие не только теоретическое, но и важное практическое значение.

Работа выполнена по теме 0252-2014-0017.

Список литературы:

Абдрахманов Р.Ф. Влияние техногенеза на качество воды Павловского водохранилища. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1991. – 28 с.

Абдрахманов Р.Ф. Особенности формирования химического состава воды Павловского водохранилища // Гидрохимические материалы. – 1994. – Т. 111. – С. 139–150.

Абдрахманов Р.Ф. Пресные подземные и минеральные лечебные воды Башкортостана. – Уфа: Гилем. 2014. – 416 с.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. – Уфа: Гилем, 2010. – 420 с.

Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Юрлов В.М. Юмагузинское водохранилище: Формирование гидрологического и гидрохимического режимов. – Уфа: Информреклама, 2008. – 152 с.

Абдрахманов Р.Ф., Шкундина Ф.Б., Полева А.О. Особенности гидрохимического и гидробиологического режимов Павловского водохранилища // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41, № 1. – С. 83–93.

Алекин А.О. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 444 с.

Кочарян А.Г., Веницианов Е.В., Сафонова Н.С., Серенькая Е.П. Сезонные изменения форм нахождения тяжелых металлов в водах и донных отложениях Куйбышевского водохранилища // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30, № 4. – С. 443–451.

Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.

Лыкошин А.Г. Павловская плотина на реке Уфа / Под ред. А.Н. Вознесенского // Геология и плотины. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959. – Т. 1. – С. 35–60.

¹ ПДКр.х. фенолов — 1×10^{-3} мг/дм³, диоксинов — 2×10^{-8} мг/дм³.

Полева А.О. Комплексная оценка экосистемы Павловского водохранилища (Республика Башкортостан): Автореф. дис.... канд. биол. наук / ИБ УНЦ РАН. – Уфа, 2009. – 18 с.

Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ионообменная концепция в генетической гидрохимии. – Уфа: Гилем, Башкирская энциклопедия, 2013. – 356 с.

Peferences:

Abdrakhmanov R.F. Vliyanie tekhnogeneza na kachestvo vody Pavlovskogo vodokhranilishcha [Influence of technogenesis on the water quality of the Pavlovskoe reservoir]. Ufa: BNTs UrO AS USSR, 1991. 28 p. (in Russian).

Abdrakhmanov R.F. Osobennosti formirovaniya khimicheskogo sostava vody Pavlovskogo vodokhranilishcha [Formation of Water Chemistry in the Pavlovskoe Reservoir] // Gidrokhimicheskie materialy [Hydrochemical materials]. 1994. V. 111. P. 139–150 (in Russian).

Abdrakhmanov R.F. Presnye podzemnye i mineral'nye lechebnye vody Bashkortostana [Fresh Groundwater and Mineral Medicinal Water Reserves of Bashkortostan]. Ufa: Gilem, 2014. 416 p. (in Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Geokhimiya i formirovaniye podzemnykh vod Yuzhnogo Urala [Geochemistry and Groundwater Formation in the South Urals]. Ufa: Gilem, 2010. 420 p. (in Russian).

Abdrakhmanov R.F., Shkundina F.B., Poleva A.O. Hydrochemical and Hydrobiological Regime of the Pavlovskoe Reservoir // Water resources. 2014. T. 41, No. 1. P. 87–96.

Abdrakhmanov R.F., Tyur V.A., Yurov V.M. Jumaguzinskoe vodohranilishche: Formirovanie gidrologicheskogo i hidrohimicheskogo rezhimov. [The Yumaguzino Water Storage Reservoir (Formation of Hydrogeological and Hydrochemical Regimes)]. Ufa: Informreklama, 2008. 152 p. (in Russian).

Alekin A.O. Osnovy hidrokhimii [Fundamentals of hydrochemistry]. L.: Gidrometeoizdat, 1970. 444 p. (in Russian).

Kocharyan A.G., Venitsianov E.V., Safronova N.S., Seren'-kaya E.P. Sezonnye izmeneniya form nakhozhdeniya tyazhelykh metallov v vodakh i donnykh otlozheniyakh Kujbyshevskogo vodokhranilishcha [Seasonal changes in the forms of finding heavy metals in the waters and bottom sediments of the Kuibyshev Reservoir] // Vodnye resursy [Water resources]. 2003. V. 30, No. 4. P. 443–451 (in Russian).

Lomtadze V.D. Inzhenernaya geologiya. Inzhenernaya geodinamika [Engineering geology. Engineering geodynamics]. L.: Nedra, 1977. 479 p. (in Russian).

Lykoshin A.G. Pavlovskaya plotina na reke Ufa (Pavlovskaya dam on the Ufa River) / A.N. Voznesenskii (ed.) // Geologiya i plotiny (Geology and Dams). M.; L.: Gosenergoizdat, 1959. V. 1. P. 35–60 (in Russian).

Poleva A.O. Kompleksnaya otsenka ekosistemy Pavlovskogo vodokhranilishcha (Respublika Bashkortostan): Avtoref. dis.... kand. biol. nauk [Complex assessment of the ecosystem of the Pavlovsk Reservoir (Republic of Bashkortostan): Cand. biol. sci. diss.] / IB UNTS RAS. Ufa, 2009. 18 p. (in Russian).

Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. Ionoobmennaya konseptsiya v geneticheskoy hidrogeokhimii [The Ion Exchange Concept in Genetic Aqueous Geochemistry]. Ufa: Gilem, Bashkirskaya entsiklopediya, 2013. 356 p. (in Russian).

Сведения об авторах:

Абдрахманов Рафил Фазылович, доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Полева Александра Олеговна, кандидат биологических наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Валитов Салават Альмирович, Башкирский филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» E-mail: bashniivh@mail.ru

About the authors:

Abdrakhmanov Rafil Fazilovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Poleva Alexandra Olegovna, Cand. Biol. Sci. Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Valitov Salavat Almirovich, Bashkir Branch of FSBI «Russian Research Institute for the Integrated Use and Protection of Water Resources» E-mail: bashniivh@mail.ru

УДК 556.3.04

DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-10>

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЮЖНОГО УРАЛА И ПРЕДУРАЛЬЯ

© 2018 г. А. И. Смирнов, В. Н. Дурнаева, Р. Ф. Абдрахманов

Реферат. Карст занимает особое место среди опасных геологических процессов по интенсивности распространения, неожиданности возникновения его проявлений и воздействию их на социально-экономические объекты и инженерные сооружения. Активное развитие карста наблюдается в наиболее освоенных в хозяйственном отношении районах региона. В Республике Башкортостан карстующиеся породы распространены на около 50% территории, почти 30% площади поражено поверхностными и подземными карстопроявлениями, около 40% городского и не менее 20% сельского населения проживает в районах развития карста. Ежегодно здесь фиксируется образование десятков новых провалов, один раз в 5–6 лет возникают аномально крупные провалы диаметром 15–40 и глубиной более 20 м. Карстовые провалы провоцируют деформации жилых и административных зданий, вызывают аварии на инженерных сооружениях. Усилинию карстовых процессов в Предуралье значительно способствовало и развитие палеодолин в неоген-четвертичное время. Применение геоинформационных систем для оценки и прогноза развития наблюдаемых опасных геологических процессов, событий и явлений, пространственного и временного анализа данных, оперативного ввода информации, анализа территорий распространения карстующихся пород, определения опасных зон при проектировании и строительстве различных объектов позволяет значительно оптимизировать процесс решения различных практических задач.

Ключевые слова: геоинформационные системы, опасные геологические процессы, карст, база данных, картирование

GIS-TECHNOLOGIES IN STUDY OF GEOHAZARDS OF THE SOUTHERN URALS AND CIS-URALS

A. I. Smirnov, V. N. Durnaeva, R. F. Abdurakhmanov

Abstract. Karst occupies a special place among dangerous geological processes in terms of distribution intensity, the unexpected occurrence of its manifestations and their impact on socio-economic objects and engineering structures. Active development of karst is observed in the most economically developed areas of the region. In the Republic of Bashkortostan karst rocks are distributed on about 50% of the territory, almost 30% of the area affected by surface and subterranean karstings, about 40% of urban and at least 20% of the rural population lives in the areas of karst development. Every year there is recorded the formation of dozens of new failures, once in 5–6 years, there are abnormally large gaps with a diameter of 15–40 and a depth of over 20 m. Karst holes provoke deformation of administrative and residential buildings, causing accidents on engineering structures. The intensification of karst processes in the Cis-Urals significantly contributed to the development of paleovalleys in the Neogene-Quaternary time. The use of geographic information systems for the assessment and forecast of the development of observed geological processes, events and phenomena, spatial and temporal data analysis, operational input of information, analysis of the territories of distribution of karst rocks, the definition of hazardous areas in the design and construction of various objects can significantly optimize the process of solving various practical problems.

Keywords: geographic information systems, geohazards, karst, database, mapping

Для цитирования: Смирнов А.И., Дурнаева В.Н., Абдрахманов Р.Ф. ГИС-технологии в изучении опасных геологических процессов Южного Урала и Предуралья // Геологический вестник. 2018. №3. С. 137–143. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-10>.

For citation: Smirnov A.I., Durnaeva V.N., Abdurakhmanov R.F. GIS-technologies in study of geohazards of the Southern Urals and CIS-Urals // Geologicheskii vestnik. 2018. No.3. P. 137–143. DOI: <http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-3-10>.

Введение

Опасные геологические процессы (ОГП) — геологические процессы, отрицательно воздействующие на населенные пункты и другие социально-экономические объекты, вызывающие чрезвычайные ситуации (катастрофы и аварии), негативно сказывающиеся на жизнедеятельности человека. Весьма разнообразные геолого-геоморфологические и гидрогеологические условия Южного Урала и Предуралья обуславливают развитие здесь генетически различных видов ОГП, характерных как для равнинных, так и для горных областей, из которых наибольшим распространением пользуются процессы экзогенного происхождения [Смирнов, 2015].

Установлено [Смирнов, 2004б], что на Южном Урале и в Предуралье в границах Республики Башкортостан (РБ) каждый четвертый населенный пункт находится в зонах развития экзогенных геологических процессов (ЭГП). В каждом из них возможно ожидать возникновение чрезвычайных ситуаций, обусловленных активизацией развития этих процессов. Значительное воздействие на населенные пункты и другие социально-экономические объекты оказывает речная (боковая) эрозия. В зоне ее воздействия находится около 14% населенных пунктов РБ. Наиболее опасным является карстовый процесс. В зоне его развития расположено более 10% населенных пунктов Башкортостана [Смирнов, 2004б]. Однако, если проявления речной боковой эрозии в виде размыва берегов четко визуально фиксируются на дневной поверхности и развитие их вполне предсказуемо, то развитие карстового процесса, как правило, происходит на глубине и скрыто от непосредственного исследования. Более того, краткосрочный достоверный прогноз образования современных карстовых провалов сегодня практически невозможен, а средне- и долгосрочные прогнозы могут быть только пространственными. Между тем карстовые провалы, особенно в Южном Предуралье, нередко вызывают аварии на инженерных сооружениях, образование их часто приводит к деформациям жилых и административных зданий. При этом часть капитальных многоэтажных домов (до 5! этажей) была снесена даже после выполнения мер противокарстовой защиты [Карст..., 2002]. То есть по степени неожиданности и причиняемому ущербу карстовый прогресс является самым опасным геологическим процессом, что справедливо не только для рассматриваемой

территории, но и для других регионов развития карста. На Южном Урале и в Предуралье карстующиеся породы распространены почти на 50% территории, около 30% ее площади поражено поверхностью карстопроявлениями [Смирнов, 2005].

Один из ведущих отечественных карстоведов Н.В. Родионов в работе по карсту Европейской части СССР, Урала и Кавказа еще в 1963 г. писал, что «...предвидеть все трудности, связанные с освоением закарстованных территорий, не всегда возможно из-за отсутствия соответствующих карт и описания карстовых районов. Поэтому Молотовское (1947 г.) и Московское (1956 г.) карстовые совещания рекомендовали обобщить материалы по характеристике карстовых районов для составления обзорных и детальных карт распространения карста на территории СССР...» [Родионов, 1963].

Сведения о карсте Южного Урала и Предуралья содержатся в около 500 научных публикациях, не менее 50 съемочных, поисковых и геологоразведочных геологических отчетах, в более 8 000 производственных инженерно-геологических отчетах по закарстованным территориям.

В 2002 г. коллективом авторов опубликована монография «Карст Башкортостана», в которой систематизированы и обобщены накопленные почти за три столетия сведения по карсту рассматриваемой территории и приведена его типизация, которая нашла дальнейшее развитие в работах последних 15 лет [Карст..., 2002; Смирнов, 2004а, б, 2005, 2013, 2014, 2015, 2018; Смирнов, Абдрахманов, 2007]. Сегодня можно констатировать, что многолетними исследованиями для Южного Урала и Предуралья достаточно четко определены подходы к типизации территории по карсту. В то же время сводные изданные карты карста Южного Урала и Предуралья крупнее масштаба 1:2 500 000 в настоящее время отсутствуют. Первая же и последняя на сегодня сводная карта карста Южного Урала и Предуралья в границах Республики Башкортостан масштаба 1:1 000 000 составлена В.И. Мартынным 47 лет тому назад. К сожалению, она не издана и содержится только в производственном отчете Башкирского территориального геологического управления «Типы карста Башкирской АССР» (Мартин В.И., 1970 г.), который хранится в геологических фондах. В связи с этим вполне очевидна актуальность составления современной среднемасштабной карты карста Южного Урала и Предуралья.

Методика исследований

Для сводного картографического отображения карста Южного Урала и Предуралья авторами принят масштаб 1:500 000 — как масштаб, наиболее приемлемый для относительно детального отражения данных, во-первых, и целостного их представления по всей рассматриваемой территории, во-вторых. Карту карста Южного Урала и Предуралья, по мнению авторов, целесообразнее всего составлять на основе современных ГИС-технологий.

Геонинформационные системы (ГИС) предназначены для картирования и анализа пространственных объектов, они объединяют традиционные операции при работе с базами данных, такими как запросы и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляют традиционная географическая карта. В отличие от бумажных карт использование компьютерной техники позволяет отбирать нужную информацию и производить ее визуализацию в удобной для пользователя форме. При этом может меняться степень детализации — включаться или отключаться показ тех или иных слоев карты (рельеф, водные объекты, дорожная сеть, строения и т.д.), проводиться генерализация при изменении масштаба. Кроме того, ГИС позволяют осуществлять интерактивное отображение информации с поддержкой взаимодействия с объектами на карте (например, получение информации о выбранном объекте) [Шарапов, 2014].

Возможности ГИС особенно актуальны для карста, так как оценка интенсивности и активности его развития осуществляется преимущественно по формам его проявления на поверхности через различные количественные показатели: плотность карстовых форм на единицу площади, пораженность территории поверхностными карстопроявлениями по типам карста, формам рельефа, неотектоническим структурам и другим таксономическим единицам его районирования. Эти количественные показатели достаточно легко и точно можно определить посредством ГИС. В связи с этим авторами разрабатывается ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья».

На сегодняшний день существует много программных продуктов зарубежного и отечественного производства, позволяющих создавать ГИС-проекты различного содержания (ArcGIS, ГИС MapInfo Professional, ActiveMap GS, ГИС «ИнГЕО» и др.).

Для создания ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» масштаба 1:500 000 используется программный продукт ГИС «Карта 2011», выпускавшийся ЗАО Конструкторское бюро «Панорама» (г. Москва) — ведущей российской компанией в области разработки геоинформационных систем. При этом нами учитывалось следующее:

- постановление Правительства Российской Федерации от 16.11.2015 № 1236 «Об установлении запрета на допуск программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, для целей осуществления закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд»;
- соответствие ГИС «Карта 2011» всем актуальным нормативно-правовым документам включая: международные стандарты ISO 19100, нормативные документы европейской инициативы INSPIRE, ГОСТы Российской Федерации;
- наличие в ГИС «Карта 2011» цифрового классификатора geology.rsc, который создан в соответствии с требованиями ГОСТ 21.302-96, предназначенного для создания специальных инженерно-геологических объектов, в т.ч. проявлений карста;
- возможности редактирования и дополнения готовых классификаторов и создания новых в зависимости от поставленных задач.

ГИС «Карта 2011» — универсальная геоинформационная система, имеющая средства создания и редактирования цифровых карт и планов, обработки данных дистанционного зондирования Земли, выполнения различных измерений и расчетов, операций со слоями, построения 3D моделей, обработки растровых данных, средства подготовки графических документов в цифровом и печатном виде, а также инструментальные средства для работы с базами данных. В ГИС «Карта 2011» предусмотрен набор функций, ориентированных на обработку данных инженерно-геологических и карстологических изысканий местности, обработку результатов измерений, нанесение их на карту и формирование на основе метрического и семантического описания объектов инженерных чертежей в автоматическом и автоматизированном режиме [ГИС ПАНORAMA].

Исходные данные

Исходными данными для карты карста Южного Предуралья масштаба 1:500 000 послужили производственные геологические отчеты ПГО «Башкиргеология»:

- Смирнов А.И., Ткачев В.Ф. Отчет об изучении экзогенных геологических процессов в юго-западной части Башкирский АССР и на Уфимском карстовом косогоре в 1982–1985 гг., г. Уфа, 1986 г.;
- Смирнов А.И., Нагуманов Д.Г., Ткачев В.Ф. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов (ЭГП) в северной части Башкирской АССР и составлению карты ЭГП Башкирской АССР масштаба 1:2 500 000 за 1985–1989 гг., г. Уфа, 1989 г.;
- Смирнов А.И. Отчет по изучению экзогенных геологических процессов (ЭГП) в восточной части Республики Башкортостан за 1989–1994 гг. г. Уфа, 1994 г.

В отмеченных отчетах представлены среднемасштабные инженерно-геологические карты пораженности территории Башкирской АССР проявлениями ЭГП (в т.ч. карста) масштаба 1:200 000 и карты подверженности населенных пунктов и других народно-хозяйственных объектов воздействию ЭГП (в том числе карста).

Карты пораженности в этих отчетах составлены на основе дешифрирования аэрофотоснимков масштаба 1:17 500–1:25 000 залета 1953–1955 гг. с полевым изучением ЭГП на ключевых участках. Результаты дешифрирования проявлений ЭГП, в том числе карста, отображались по номенклатурным листам масштаба 1:25 000 и 1:100 000–1:200 000 на геологической основе съемочных листов и приложены к отчетам, которые содержатся в настоящее время в Башкортостанском филиале «ТФГИ по ПФО». Они послужили исходным материалом для отображения на карте карста Южного Предуралья поверхностных проявлений карста Южного Урала и Предуралья, а также таксономических единиц его типизации.

Карты подверженности населенных пунктов карстопроявлениями отражают степень воздействия ЭГП на них, определенную в 1979 г. по методике ВСЕГИНГЕО «Методические рекомендации по проведению специального инженерно-геологического обследования и составлению карт районов, потенциально опасных и подверженных оползням, обвалам и другим экзогенным геологическим процессам».

Ценность карт подверженности для составления сводной карты карста Южного Предуралья заключается в том, что на них отображены карстовые провалы и воронки с фиксированным временем образования. Они установлены по фондовым и архивным источникам, а также по данным полевого

обследования населенных пунктов (Смирнов А.И., Ткачев В.Ф., 1986 г., Смирнов А.И., Нагуманов Д.Г., Ткачев В.Ф., 1989 г., Смирнов А.И. 1994 г.). Исходные фондовые материалы будут дополнены работами последних лет по современной типизации карста и его активности [Абдрахманов, Смирнов, 2016; Смирнов, 2004а, б, 2005, 2013, 2014, 2015, 2018].

ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» создается в системе координат Пулково-42, так как именно в этой системе координат отображена исходная информация по карсту на бумажных носителях, содержащихся в производственных геологических отчетах. Кроме того, в этой системе координат создана кондиционная топографическая основа масштаба 1:500 000 (2005 г.), на основе которой будет отображаться специальное содержание карты.

Следует особо подчеркнуть, что ГИС-проект «Карст Южного Урала и Предуралья» масштаба 1:500 000 не затрагивает территории города Уфы, для которой необходимо отдельное крупномасштабное картографическое отображение карста.

Результаты исследований

На сегодня для ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» разработана его структура и определены основные и вспомогательные группы слоев.

Основная группа слоев:

1. Современное районирование карста Южного Урала и Предуралья с отображением границ развития различных его типов:

- по условиям питания подземных вод;
- по характеру рельефа и условиям залегания карстующихся пород;
- по составу карстующихся пород;
- по степени перекрытия карстующихся пород некарстующимися.

2. Проявления карста как поверхностные, так и подземные:

- карстовые воронки, объединенные в масштабе карты в карстовые поля;
- карстовые поля и отдельные карстовые воронки;
- провалы и воронки с известной датой образования;
- аномально крупные провалы и воронки (поперечником и глубиной более 15 м) с известной датой образования;
- высокодебитные карстовые родники;

- карстовые пещеры протяженностью 100 м и более;
- карстовые пещеры — памятники природы;
- другие проявления карста.

Дополнительная группа слоев:

3. Контуры наиболее врезанной части палеодолин рек.

4. Контуры неотектонических структур различных порядков.

5. Границы муниципальных районов.

Вполне возможно, что перечень слоев может быть изменен и дополнен, а специальное его содержание будет сопровождаться группой слоев кондиционной топографической основы масштаба 1:500 000 (2005 г.) и 1:100 000 (2007 г.).

На сегодня исходная информация по поверхностным проявлениям карста (воронки, поля) на бумажных носителях в виде растровых изображений загружена в ГИС-проект. Средствами ГИС «Карта 2011» осуществлена ее трансформация, координат-

ная привязка и векторизация. При этом оцифровка карстовых воронок и полей самая трудоемкая операция в создании ГИС-проекта. Кроме того, в проект введена информация по карстовым пещерам протяженностью 100 м и более (~140 шт.) с атрибутивными данными: возраст карстующихся пород, длина, площадь, объем, глубина, амплитуда.

Хранение данных осуществляется в базе, состоящей из нескольких взаимосвязанных таблиц в формате DB. Раstry хранятся в формате RSW, а пользовательские векторные карты — в формате SIT [Соколова, 2007].

В дальнейшем, используя возможности программного продукта ГИС «Карта 2011», будут получены количественные показатели интенсивности развития карста по его типам и другим таксономическим единицам районирования территории Южного Урала и Предуралья.

Ниже на рисунке представлено окно программы ГИС «Карта 2011» — ГИС-проект «Карст

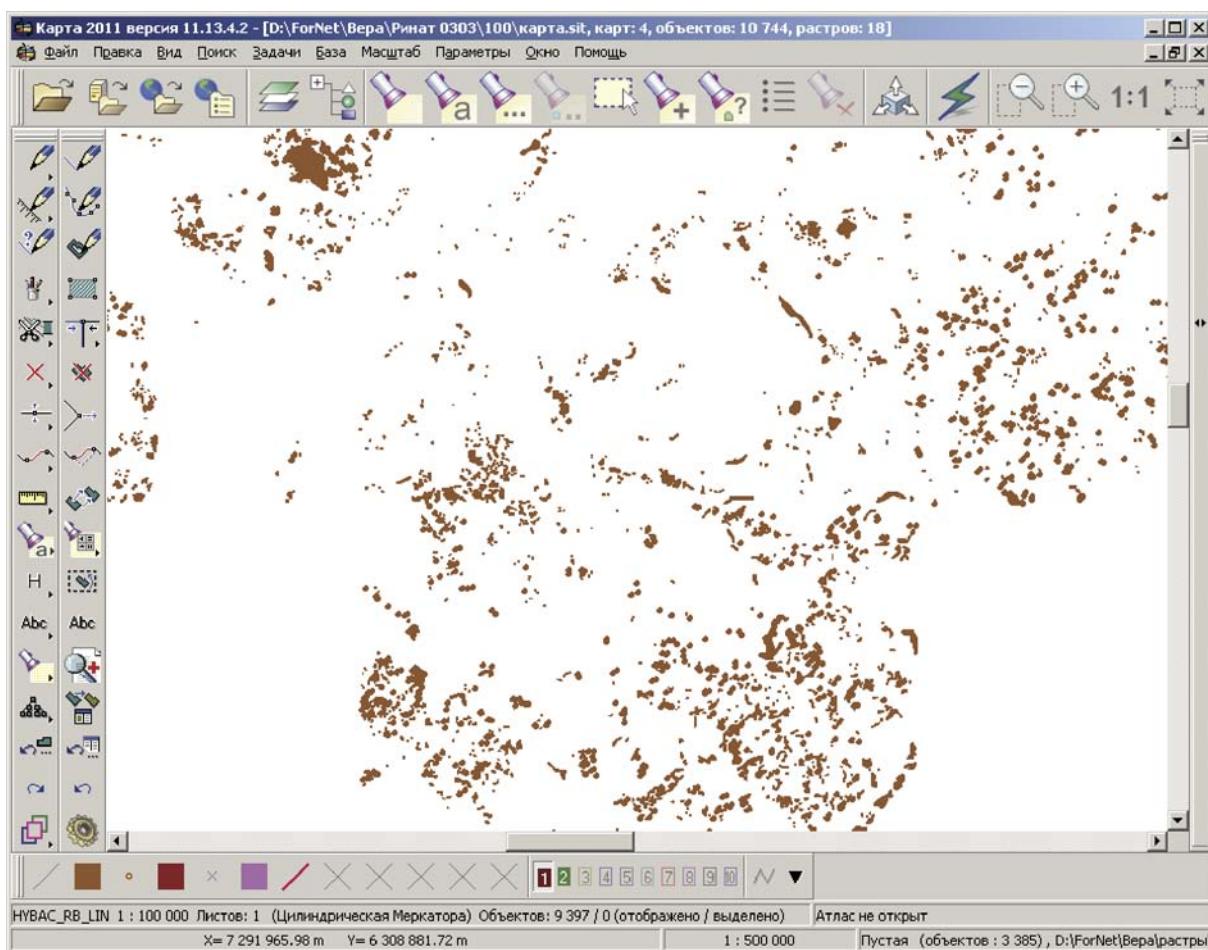


Рис. Фрагмент ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» в окне ГИС «Карта 2011»

Fig. A fragment of the GIS project «Karst of the Southern Urals and CIS-Urals» GIS «Map 2011»

Южного Урала и Предуралья» с открытыми рабочими слоями «карстовые поля» и «карстовые воронки» масштаба 1:500 000.

Выводы

Карта карста Южного Урала и Предуралья масштаба 1:500 000 составляется впервые. Она, несомненно, будет полезна и востребована при планировании строительства новых отдельных социально-экономических объектов, при разработке генеральных схем расширения существующих населенных пунктов и проектировании новых, планировании строительства протяженных линейных объектов (продуктопроводов, ЛЭП и т.п.) и др.

Создание карты карста, как самого опасного геологического процесса рассматриваемой территории, с использование современных ГИС-технологий имеет важное как научное, так и практическое значение, так как составление карты на основе программного продукта ГИС «Карта 2011» делает ее не статичной, а динамичной. Действительно, возможности ГИС позволяют оперативно вводить новые данные, производить пространственный и временной их анализ, оценивать и прогнозировать наблюдаемые события и явления по развитию карста.

Все это делает карту карста, составленную посредством ГИС «Карта 2011», постоянно обновляемой с возможной ее детализацией как в целом по всей рассматриваемой территории, так и по отдельным ее частям с изменением масштаба от 1:100 000 до 1:1 000 000. То есть использование ГИС-технологий в изучении ОГП является весьма эффективным и позволяет минимизировать временные затраты.

В заключение следует также отметить, что на основе ГИС-проекта «Карст Южного Урала и Предуралья» в дальнейшем возможно создание геоинформационных систем, позволяющих обеспечить к нему массовый доступ на основе современных информационно-коммуникационных технологий. Например, создание интерактивных карт — электронных карт, работающих в режиме двустороннего диалогового взаимодействия человека (пользователя) и компьютера и представляющих собой визуальную информационную систему. Среди таких интерактивных карт можно назвать карты: карстоопасности территории, современных карстовых провалов с фиксированным временем образования, подверженности населенных пунктов воздействию карста и другие.

Работа выполнена по теме № 0252-2014-0017.

Список литературы:

Абдрахманов Р.Ф., Смирнов А.И. Карст Южного Предуралья и его активизация под влиянием техногенеза // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2016. – № 4. – С. 353–361.

ГИС ПАНORAMA :: ГИС Карта 2011 :: GIS ToolKit :: GIS WebServer [сайт]: URL: <http://gisinfo.ru/> (дата обращения: 02.02.2018).

Карст Башкортостана / Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов, А.П. Рождественский, А.И. Смирнов, А.И. Травкин. – Уфа: Информреклама, 2002. – 384 с.

Родионов Н.В. Карст Европейской части СССР, Урала и Кавказа. – М.: Госгеолтехиздат, 1963. – 175 с.

Смирнов А.И. Типы карста и современная активность его развития на Южном Урале и в Предуралье // Карстоведение – XXI век: теоретическое и практическое значение: Матер. междунар. симпоз. – Пермь, 2004а. – С. 90–94.

Смирнов А.И. Оценка воздействия карстового процесса на населенные пункты Республики Башкортостан // Карстоведение – XXI век: теоретическое и практическое значение: Матер. междунар. симпоз. – Пермь, 2004б. – С. 325–328.

Смирнов А.И. Карст // Атлас Республики Башкортостан. – Уфа: Китап, 2005. – С. 60.

Смирнов А.И. Аномально крупные карстовые провалы Южного Урала и Предуралья // Геологический сборник № 10 / ИГ УНЦ РАН. Уфа: ДизайнПресс, 2013. – С. 50–56.

Смирнов А.И. Открытый сульфатный карст Южного Предуралья. Геологический сборник № 11 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПресс, 2014. С. 243–248.

Смирнов А.И. Оценка карстовой опасности Южного Урала и Предуралья. Экологическая безопасность и строительство в карстовых районах. // Материалы Международного симпозиума. – Пермь, 2015. – С. 194–198.

Смирнов А.И. Опасные геологические процессы Южного Урала и Предуралья. Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире. // Матер. 9-й Междунар. науч.-практ. конф. «ГЕОРИСК–2015». – М., 2015. – С. 380–386.

Смирнов А.И. Карта сульфатного карста Южного Предуралья (содержание, принципы и методика построения) // Инженерная геология. – 2018. – № 1. – С. 52–60.

Смирнов А.И., Абдрахманов Р.Ф. Карстоопасность территории Республики Башкортостан // Вестник Академии наук РБ. – 2007. – Т. 12, № 2. – С. 5–11.

Соколова И.А. Методика структурирования данных для информационного моделирования геологической среды // Геопрофи. – 2007. – № 6. – С. 14–18.

Шарапов Р.В. Визуализация динамики развития карстов в системе наблюдения за карстовыми процессами // Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды 16-й Всерос. науч. конф. – RCDL-2014, Дубна, Россия, 13–16 окт. 2014 г. [Электронный ресурс] – С. 275–279. – URL: http://rcdl.ru/doc/2014/paper/RCDL2014_275-279.pdf (дата обращения 05.07.2018)

References:

Abdrakhmanov R.F., A.I., Smirnov A.I. Karst Juzhnogo Predural'ja i ego aktivizacija pod vlijaniem tehnogeneza [Karst of the Southern Cis-Urals and its activation under the influence of

technogenesis] // Geojekologija, inzhenernaja geologija, hidrogeologija, geokriologija 2016. No. 4. P. 353–361 (in Russian).

GIS PANORAMA :: GIS Karta 2011 :: GIS ToolKit :: GIS ShhebServer [web]: URL: <http://gisinfo.ru/> (date: 02.02.2018).

Karst Bashkortostana [Karst of Bashkortostan] / R.F. Abdurakhmanov, V.I. Martin, V.G. Popov, A.P. Rozhdestvenskii, A.I. Smirnov, A.I. Travkin. Ufa: Informreklama, 2002. 384 p. (in Russian).

Rodionov N.V. Karst Evropejskoi chasti SSSR, Urala i Kavkaza [Karst of the European part of the USSR, the Urals and the Caucasus]. Moscow: Gosgeoltehizdat, 1963. 175 p. (in Russian).

Sharapov R.V. Vizualizacija dinamiki razvitiya karstov v sisteme nablyudenija za karstovymi processami [Visualization of dynamics of development of clusters in the system of monitoring of karst processes] // Trudy 16-i Vserossijskoi nauchnoi konferencii “Jelektronnye biblioteki: perspektivnye metody i tekhnologii, jelektronnye kollektsii” — RCDL-2014, Dubna, Russia. 13–16 october 2014. P. 275–279. [web]: URL: http://rcdl.ru/doc/2014/paper/RCDL2014_275-279.pdf (date: 05.07.2018) (in Russian).

Smirnov A.I. Tipy karsta i sovremenennaja aktivnost' ego razvitiya na Juzhnom Urale i v Predural'e [Types of karst and the current activity of its development in the Southern Urals and in the Cis-Urals] // Karstovedenie — XXI vek: teoreticheskoe i prakticheskoe znachenie: Materialy mezhdunar. simpoziuma. Perm', 2004a. P. 90–94 (in Russian).

Smirnov A.I. Ocenka vozdejstviya karstovogo processa na naselennye punkty Respubliki Bashkortostan [Assessment of the impact of the karst process on settlements of the Republic of Bashkortostan] // Karstovedenie — XXI vek: teoreticheskoe i prakticheskoe znachenie: Materialy mezhdunar. simpoziuma. Perm', 2004b. P. 325–328 (in Russian).

Smirnov A.I. Karst [Karst]// Atlas Respubliki Bashkortostan. Ufa: Kitap, 2005. P. 60 (in Russian).

Smirnov A.I. Anomal'no krupnye karstovye provaly Juzhnogo Urala i Predural'ja [Abnormally large karst failures of the Southern Urals and Cis-Urals]. Geologicheskii sbornik No. 10 / IG UNC RAS. Ufa: DesignPress, 2013. P. 50–56 (in Russian).

Smirnov A.I. Otkrytiy sul'fatnyi karst Juzhnogo Predural'ja [Open sulfate karst of the Southern Cis-Urals]. Geologicheskii sbornik No. 1. Ufa: DesignPress, 2014. P. 243–248 (in Russian).

Smirnov A.I. Ocenna karstovo opasnosti Juzhnogo Urala i Predural'ja. Jekologicheskaja bezopasnost' i stroitel'stvo v karstovym rajonah [Estimation of the karst danger of the Southern Urals and Urals. Environmental safety and construction in karst areas] // Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma. Perm', 2015. P. 194–198 (in Russian).

Smirnov A.I. Opasnye geologicheskie processy Juzhnogo Urala i Predural'ja. Analiz, prognos i upravlenie prirodnymi riskami v sovremennom mire [Dangerous geological processes in the Southern Urals and Cis-Urals. Analysis, forecast and management of natural risks in the modern world] // Mater. 9-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «GEORISK—2015». Moscow, 2015. P. 380–386 (in Russian).

Smirnov A.I. Karta sul'fatnogo karsta Juzhnogo Predural'ja (soderzhanie, principy i metodika postroenija) [Map of the sulfate karst of the Southern Cis-Urals (content, principles and methodology of construction)] // Inzhenernaja geologija. 2018. No. 1. P. 52–60 (in Russian).

Smirnov A.I., Abdurakhmanov R.F. Karstoopasnost' territorii Respubliki Bashkortostan [Karst danger of the territory of the Republic of Bashkortostan] // Vestnik Akademii nauk RB. 2007. T. 12, No. 2. P. 5–11 (in Russian).

Sokolova I.A. Metodika strukturirovaniya dannyh dlja informacionnogo modelirovaniya geologicheskoi sredy [Method of data structuring for information modeling of geological environment] // Geoprofi. 2007. No. 6. P. 14–18 (in Russian).

Сведения об авторах:

Смирнов Александр Ильич, кандидат геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Абдрахманов Рафил Фазылович, доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

Дурнаева Вера Николаевна, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: hydro@ufaras.ru

About the authors:

Smirnov Aleksandr Illich, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Abdrakhmanov Rafil Fazilovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru

Durnaeva Vera Nikolayevna, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: hydro@ufaras.ru