ИГ УФИЦ РАН

ISSN 2619-0087

Геологический Вестник

№ 2, 2018

ISSN 2619-0087

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
УФИМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК

2018. № 2

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

Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. Модель образования магматических пород Шатакского комплекса 3

Косарев А.М., Серавкин И.Б., Шафигуллина Г.Т. Баймакский колчеданоносный палеовулканический комплекс 14

Косарев А.М., Серавкин И.Б. Тубинско-Гайский пояс: закономерности формирования и размещения колчеданного оруденения в свете новых петролого-геохимических данных по составу рудовмещающих комплексов 36

Казаков П.В. К истории добычи россыпного золота, о некоторых артефактах и перспективах расширения Баишевского археологического микрорайона (Южный Урал) 58

Сначёв А.В., Сначёв В.И. Перспективы углеродистых отложений Новоусмановской площади на рений, вольфрам, молибден (зона Уралтау) 68

Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Ратов А.А., Козлова О.В. Стратиграфическая корреляция отложений рифея Волго-Уральской области и Южного Урала и их пространственное взаимоотношение в зоне сопряжения платформенных и складчатых структур по сейсмическим материалам 79

Данукалова Г.А., Курманов Р.Г., Осипова Е.М., Застрожнов А.С., Зиновьев Е.В. Палеонтологическая характеристика плейстоценовых отложений скважины 3Э (Нижнее Поволжье) 96

Данукалов К.Н., Голованова И.В., Сальманова Р.Ю. Палеомагнитное изучение нижнекаменноугольных вулканитов Магнитогорско-Богдановского грабена 110

Абдрахманов Р.Ф. Фильтрационные свойства неоген-четвертичных глинистых отложений и изменение их под влиянием техногенеза 118

НАШИ ЮБИЛЯРЫ 125

Виктор Николаевич Пучков. К 80-летию со дня рождения 125

Делир Нурзадаевич Салихов. К 80-летию со дня рождения 129

ISSN 2619-0087

Russian Academy of Sciences
Ufa Federal Research Centre
Institute of Geology

GEOLOGICHESKII VESTNIK

2018. No. 2

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

© Institute of geology
UFRC RAS, 2018
© Articles autors, 2018

CONTENTS

Kovalev S.G., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. Model of origin of magmatic rocks of the Shatak Complex 3

Kosarev A.M., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. Baimak massive sulfide-bearing paleovolcanic complex 14

Kosarev A.M., Seravkin I.B. Tubinsk-Gai belt: regularities in the formation and location of massive sulfide mineralization in the light of new petrological-geochemical data on the composition of ore-bearing complexes 37

Kazakov P.V. On the history of the production of placer gold, some artifacts, and the perspectives of expansion of the Baishev archaeological microdistrict (South Ural) 58

Snachev A.V., Snachev V.I. Prospects of carbonaceous deposits of Novousmanovsky area on rhenium, tungsten, molybdenum (Uraltau zone) 68

Sergeeva N.D., Puchkov V.N., Ratov A.A., Kozlova O.V. Correlation of deposits of the Riphean of the Volgo-Uralian area and the Southern Urals and their relationships in the zone of conjunction of the platform and foldbelt structures after seismic data 79

Danukalova G.A., Kurmanov R.G., Osipova E.M., Zastrozhnov A.S., Zinoviev E.V. Paleontological characteristic of the Pleistocene deposits of the borehole 3E section (Lower Volga area) 96

Danukalov K.N., Golovanova I.V., Sal'manova R.Yu. Paleomagnetic study of the Lower Carboniferous volcanites in the Magnitogorsk-Bogdanovka graben 110

Abdrakhmanov R.F. Filtration properties of the Neogene-Quaternary clay deposits and their changes under the influence of technogenesis 118

OUR JUBILEES 125

Victor Nikolaevich Puchkov. On the 80th anniversary of his birth 125

Delir Nurzadaevich Salikhov. On the 80th anniversary of his birth 129

УДК 55(47+57) DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-1

МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ШАТАКСКОГО КОМПЛЕКСА

© 2018 г. С. Г. Ковалев, С. И. Высоцкий, С. С. Ковалев

Реферат. На основе материалов по детальной минералогии и изотопно-геохимическим характеристикам магматических пород Шатакского комплекса разработана детальная модель его формирования. Показано, что генезис всего разнообразия магматических пород комплекса (пикритов, базальтов, риолитов) удовлетворяет условиям AFC (Assimilation Fractional Crystallization) процесса, заключающегося в фракционировании ликвидусных фаз (оливин ± клинопироксен) и накоплении флюидной фазы в прикровельной части камеры/очага, с одной стороны, и ассимиляции вмещающих пород — с другой.

Ключевые слова: Шатакский комплекс, Rb-Sr изотопна я система, Sm-Nd изотопная система, пикриты, базальты, риолиты, AFC-процесс, фракционирование, ассимиляция

MODEL OF ORIGIN OF MAGMATIC ROCKS OF THE SHATAK COMPLEX

S. G. Kovalev, S. I. Vysotsky, S. S. Kovalev

Abstract. Based on materials on detailed mineralogy and isotope-geochemical characteristics of igneous rocks of the Shatak Complex, a detailed model of its formation is given. It is shown that the origin of the diversity of igneous rocks (picrites, basalt, rhyolite) satisfies the conditions of AFC (Assimilation Fractional Crystallization) process that occurs as a fractionation of liquidus phases (olivine ± clinopyroxene) and an accumulation of a fluid phase in the upper part of the chamber on one side and assimilation host rocks on the other.

Keywords: Shatak complex, Rb-Sr isotope system, Sm-Nd isotope system, picrites, basalts, rhyolites, the AFC-process, fractionation, assimilation

Представление о том, что формирование крупных магматических провинций (LIPs) связано с плюмами/суперплюмами, 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 не до конца решенной.

В рифейской истории западного склона Южного Урала среднерифейский этап является временем с максимальным развитием магматизма на обширной территории (рис. 1) преимущественно в интрузивной форме с повышенной основностью пород (пикриты, пикродолериты, дайки меланократовых габбро-долеритов). Более того, как установлено в последнее время, «машакское магматическое событие» в виде вулканитов, дайковых роев и глубинных интрузий распространилось далеко за пределы Башкирского мегантиклинория (Восточно-Европейская платформа, Тиман, Гренландия, Сибирский кратон) и представляет собой явление субглобального масштаба плюмовой/суперплюмовой природы [Пучков, Ковалев, 2013].

Шатакский комплекс представляет собой стратифицированную вулканогенно-осадочную

Для цитирования: Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. Модель образования магматических пород Шатакского комплекса // Геологический вестник. 2018. №2. С. 3–13. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-1.

For citation: Kovalev S.G., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. Model of origin of magmatic rocks of the Shatak Complex // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 3–13. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-1.

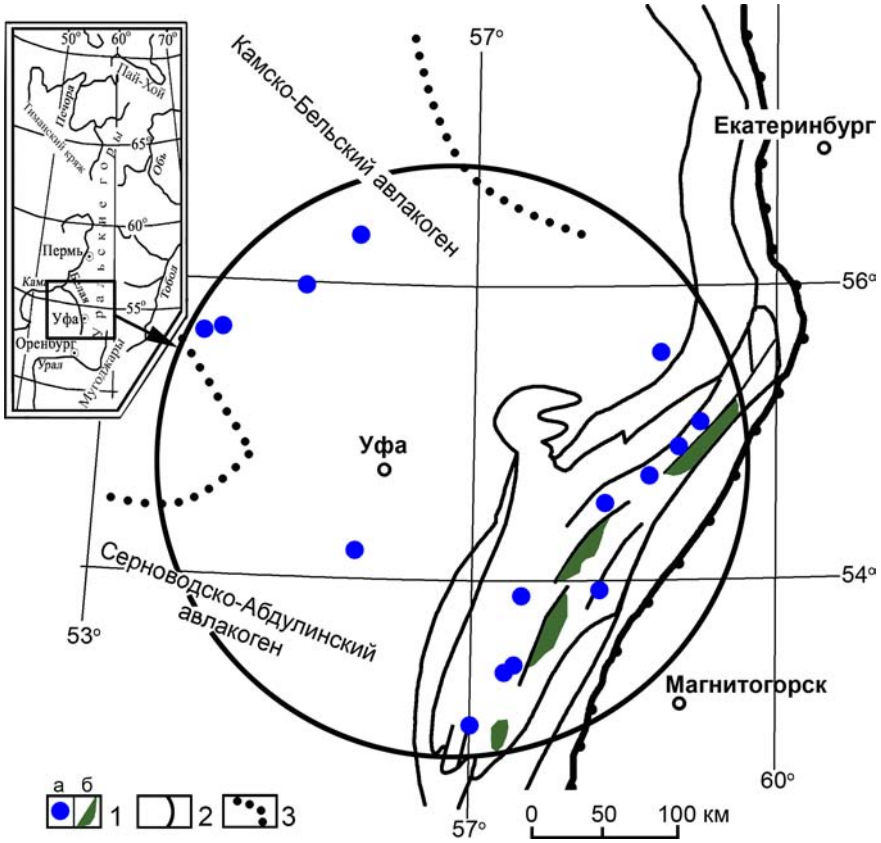


Рис. 1. Схема распространения магматических пород среднерифейского возраста в пределах западного склона Южного Урала и прилегающей части Восточно-Европейской платформы. По [Ковалев и др., 2017]

Условные обозначения: 1 — магматические породы (а — интрузивные, б — эффузивные); 2 — условные границы области распространения среднерифейского магматизма; 3 — границы авлакогенов.

Fig. 1. Scheme of development of magmatic environments of the Middle Riphean age within the western slope of the Southern Urals 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.

ассоциацию, залегающую в основании среднерифейского разреза Башкирского мегантиклинория (рис. 2) и совместно с Машакским, Кувашским и Кусинско-Копанским комплексами является индикаторным для характеристики геодинамического развития территории Южного Урала в среднем рифее. Осадочные породы Шатакского комплекса слагают около 75% его объема и представлены преимущественно грубозернистыми разностями: конгломератами и песчаниками. Алевролиты, алевросланцы и сланцы встречаются относительно редко. Конгломераты развиты на нескольких стратиграфических уровнях. Они на 70–80% сложены хорошо окатанными обломками кварцито-песчаников

→

Условные обозначения к рис. 2: PZ — нерасчлененные отложения палеозоя; 1 — венд; 2 — завершающий рифей (аршиний); 3 — верхний рифей; 4 — нижний и средний рифей Маярдакского антиклинория; 5 — нерасчлененные отложения зигазино-комаровской и авзянской свит; 6 — зигальгинская свита (RF_2); 7 — машакская свита (RF_2); 8 — бакальская и юшинская свиты; 9 — саткинская и суранская свиты; 10 — айская и большеинзерская свиты; 11 — метаморфические образования архея – раннего протерозоя тараташского комплекса; 12 — метаморфические образования Уфалей-Уралтауского мегантиклинория; 13 — габбро-долериты (а), граниты (б); 14 — геологические границы; 15 — основные разрывные нарушения.

Legend to fig. 2: PZ — undivided Paleozoic deposits; 1 — Vendian; 2 — the final Riphean (arshiniy); 3 — upper Riphean; 4 — Lower and Middle Riphean of the Maardak anticlinorium; 5 — undivided sediments of the Zigazin-Komarovo and Avzyan Formations; 6 — the Zigalga Formations (RF_2); 7 — Mashak Formations (RF_2); 8 — the Bakal and Yushin Formations; 9 — Satka and Suran Formations; 10 — the Ai and Bolsheinzer Formations; 11 — metamorphic formations of the Archean – Early Proterozoic of the Taratash complex; 12 — metamorphic formations of the Ufaley-Uraltau megantiklinorium; 13 — gabbro-dolerites (a), granites (б); 14 — geological boundaries; 15 — the main thrusts and normal faults.

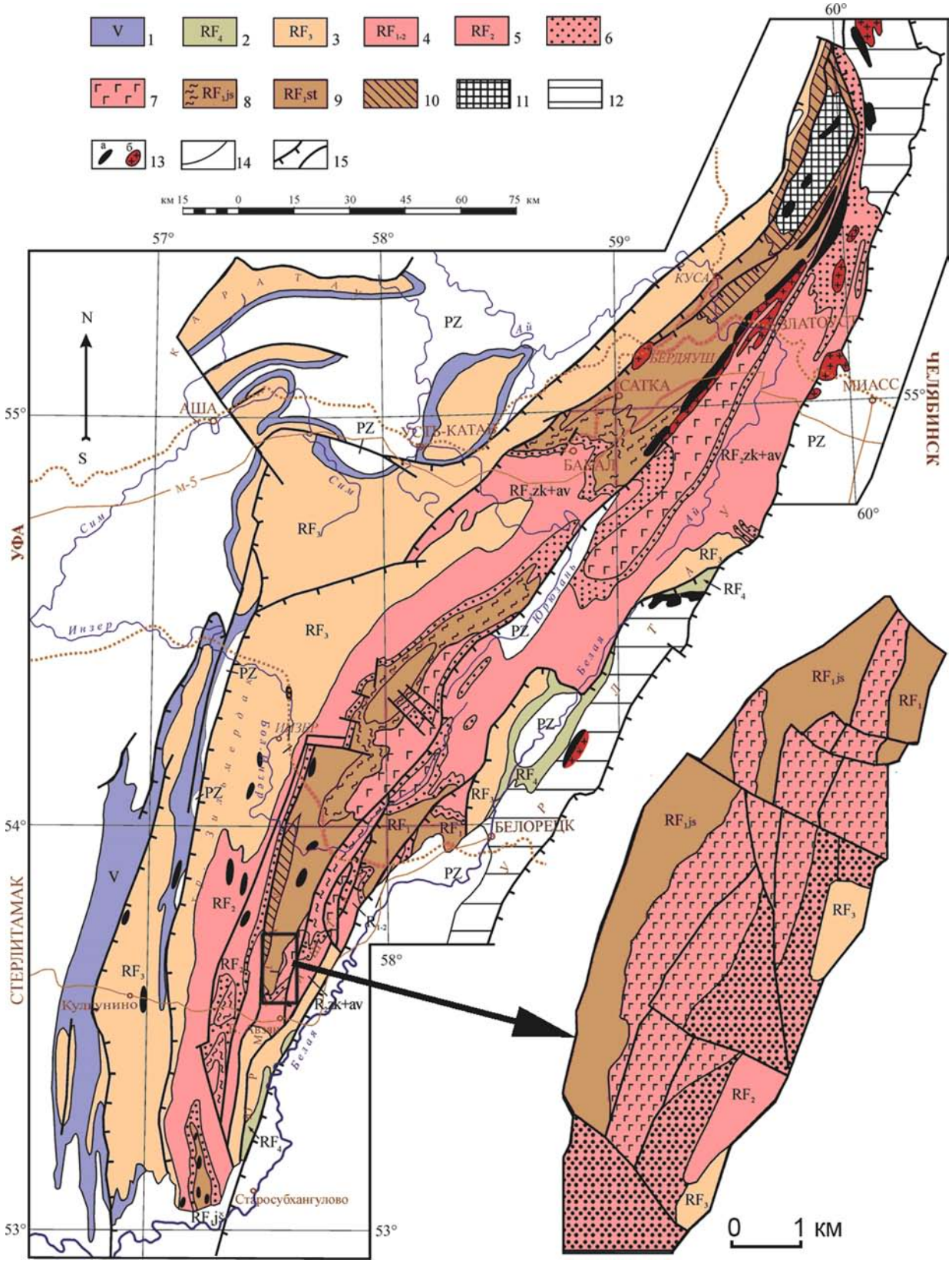


Рис. 2. Геологическая схема Башкирского мегантиклинория и Шатакского комплекса
Fig. 2. Geological scheme of the Bashkirian meganticlinorium and the Shatak complex

и кварцитов, реже железистых кварцито-песчаников и микрокварцитов. Цемент представлен кварцевым песчанистым материалом и мелкочешуйчатой серицит-хлоритовой массой. Песчаники представлены кварцевыми разностями, на 80–90% состоящими из обломков кварца с хлорит-серицитовым цементом. Алевролиты, алевросланцы и сланцы встречаются в тонком переслаивании друг с другом, реже слагают самостоятельные маломощные горизонты и пачки.

Магматические породы Шатакского комплекса представлены пикритами, базальтами и риолитами. Пикриты образуют пластовую интрузию видимой мощностью около 25–30 м, расположенную в основании машакской свиты на ее непосредственной границе с подстилающими отложениями юшинской свиты (RF_1). Тело имеет дифференцированное строение, подразделяясь на три зоны: нижнюю эндоконтактовую, центральную и верхнюю эндоконтактовую. Породы верхней эндоконтактовой зоны представлены метадолеритами 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. Нижний горизонт представлен интенсивно измененными пикродолеритами. Из первичных минералов по псевдоморфозам устанавливаеются клинопироксен и плагиоклаз. Вторичные минералы представлены амфиболом, лейкоксеном, хлоритом, серпентином, альбитом, карбонатом, апатитом, тальком и серицитом.

Метабазальты, максимальное количество которых входит в состав кузъелгинской, казавдинской и каранской подсвит, представляют собой зеленые, зеленовато-серые, средне-мелкозернистые породы, для которых характерны микродолеритовая, микроофитовая, апоинтерсертальная и порфировидная структуры. Минеральный состав пород включает в себя клинопироксен, плагиоклаз, роговую обманку, титаномагнетит и магнетит. Ассоциация вторичных минералов представлена амфиболом актинолит-тремолитового ряда, хлоритом (пеннин-клинохлор), эпидотом, серицитом, титанитом, лейкоксеном и гематитом. Часто в прикровельных и приподошвенных частях магматических тел наблюдаются обильные миндалины, выполненные кальцит-кварц-эпидот-хлоритовым агрегатом, что свидетельствует о значительной флюидонасыщенности внедрявшейся магмы.

Риолиты — светло-серые породы с порфировидной флюидальной и шлирово-такситовой структурой. Основная масса сложена мелкозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом. В порфировидных выделениях присутствует кислый плагиоклаз (андезин-олигоклаз). Темноцветные минералы представлены зеленовато-бурым биотитом и хлоритом. В качестве акцессориев встречаются апатит, алланит, монацит, титанит, эпидот.

Кроме того, в пределах комплекса встречаются интрузивные габбро, габбро-долериты, представленные силлами или штокообразными телами с рвущими стратифицированные толщи контактами. Практически все магматические породы претерпели интенсивный зеленокаменный метаморфизм. Они окварцованы и серицитизированы.

В последнее время нами был получен новый материал по детальной минералогии и изотопно-геохимическим характеристикам магматических пород комплекса, позволяющий с большей детальностью воссоздать условия их формирования [Ковалев и др., 2017, 2018а, 2018б]. Процесс образования магматических пород Шатакского комплекса условно можно подразделить на несколько этапов (стадий):

1 этап (стадия). Поступление недифференцированного мантийного вещества при подъеме плюма и начинающийся рифтогенный процесс активного типа приводят к внедрению расплава в верхние горизонты коры (рис. 3а). *P-T* условия расплава в промежуточном очаге можно реконструировать по составу оливина и клинопироксена пикритов Шатакского комплекса. Выполненные расчеты температур формирования минеральных парагенезисов основывались на оливин-клинопироксеновом (*Ol-Cpx*) геотермометре

$$\ln K_{DFe/Mg}^{Ol/Aug} - 78.025 = \frac{-5945.96}{T} - 10.1327 \ln T$$

(при точности $\sigma_T = \pm 6.1$°C) [Loucks, 1996].

Путем подстановки в формулу

$$T_{Ca-Ol}(°C) = \frac{10539 + 79.8P}{15.45 - \ln Ca^{Ol}} - 273,$$

предложенную в работе [De Hoong et al., 2010], температур, рассчитанных по *Ol-Cpx* геотермометру, было рассчитано давление, при котором сформировались минеральные ассоциации пикритов и пикродолеритов (табл. 1). Согласно полученным материалам, кристаллизация оливина началась при $T = 1100$°C и давлении 10–11 кбар.

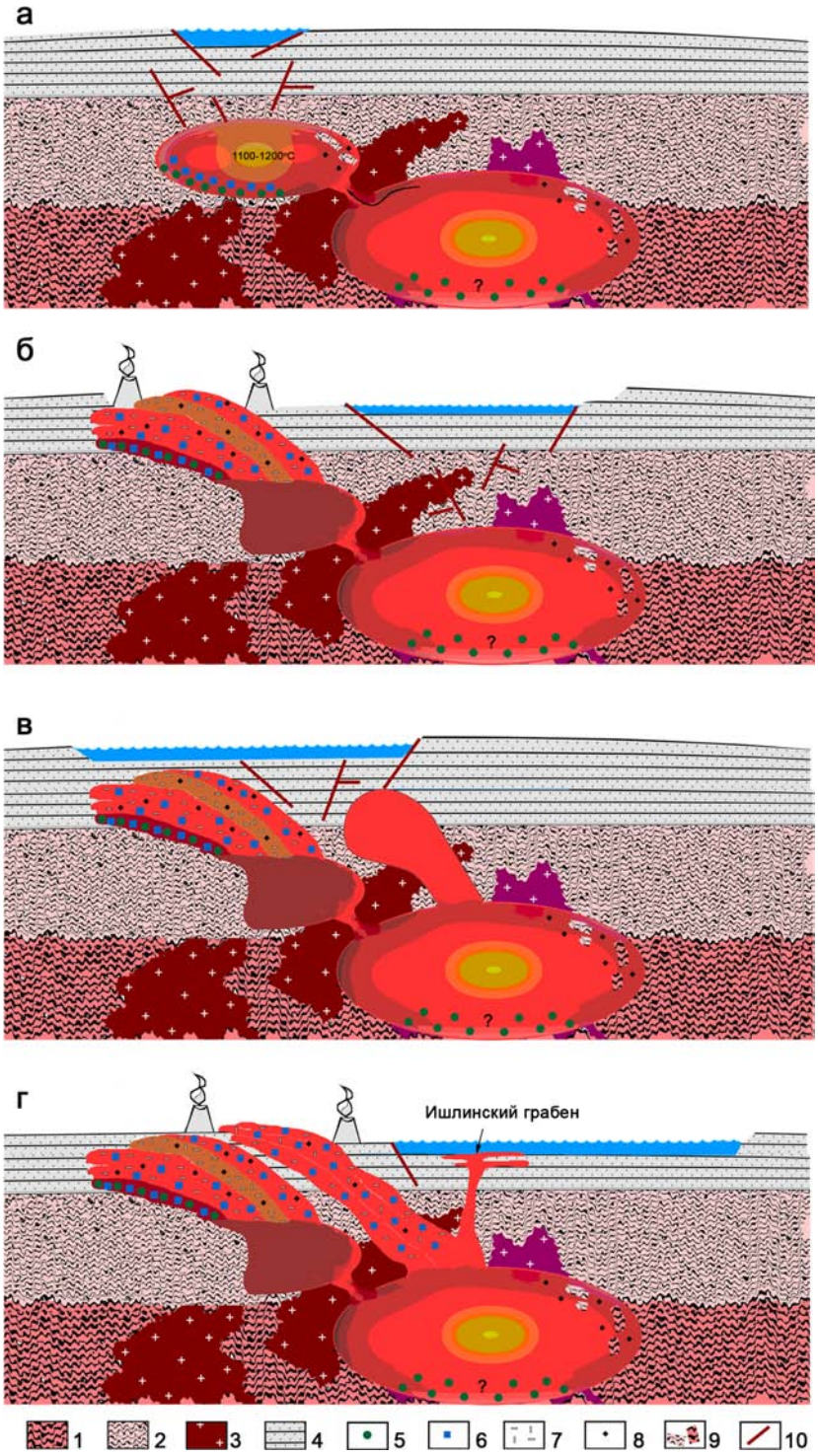


Рис. 3. Модель формирования магматических пород Шатакского комплекса

Условные обозначения: 1–4 — структурно-вещественные комплексы фундамента (1 — архейский, 2 — палеопротерозойский, 3 — гранито-гнейсовые архейско-палеопротерозойские комплексы предполагаемые, 4 — рифейский); 5 — оливин; 6 — пироксен; 7 — плагиоклаз; 8 — ксеногенный циркон; 9 — контаминируемый материал; 10 — тектонические нарушения.

Fig. 3. Model of formation of igneous rocks of the Shatak complex

Legend: 1–4 — structural-material complexes of the basement (1 — Archaean, 2 — Paleoproterozoic, 3 — granite-gneisses of Archean-Paleoproterozoic complexes, 4 — Riphean); 5 — olivine; 6 — pyroxene; 7 — plagioclase; 8 — xenogenic zircon; 9 — contaminated material; 10 — faults.

Таблица 1

Составы оливинов и клинопироксенов и расчетные P-T параметры для пикритов и пикродолеритов Шатакского комплекса

Table 1

Compositions of olivines and clinopyroxenes and calculated P-T parameters for picrites and picrodolerites of the Shatak complex

№ обр.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Cr_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	*T*, °C	*P*, kbar
shat_1_ol	37.44	–	–	–	27.29	0.37	34.81	0.2	–	1103.70	10
shat_1_px	51.24	1.19	3.06	–	9.02	0.4	15.76	18.67	0.48		
shat_1_ol	37.42	–	–	–	27.3	0.36	34.82	0.19	–	1103.68	11
shat_1_px	51.24	1.19	3.06	–	9.02	0.4	15.76	18.67	0.48		
shat_1_ol	37.43	–	–	–	27.28	0.37	34.82	0.2	–	1103.85	10
shat_1_px	51.24	1.19	3.06	–	9.02	0.4	15.76	18.67	0.48		
shat_1_ol	37.44	–	–	–	27.29	0.37	34.81	0.2	–	1100.87	9
shat_1_px	51.23	1.19	3.05	0.11	9.01	0.39	15.77	18.65	0.5		
shat_1_ol	37.42	–	–	–	27.3	0.36	34.82	0.19	–	1100.85	10
shat_1_px	51.23	1.19	3.05	0.11	9.01	0.39	15.77	18.65	0.5		
shat_1_ol	37.43	–	–	–	27.28	0.37	34.82	0.2	–	1101.02	9
shat_1_px	51.23	1.19	3.05	0.11	9.01	0.39	15.77	18.65	0.5		
shat_2_ol	37.58	–	–	–	26.03	0.28	35.18	0.18	–	1039.38	5
shat_2_px	51.26	0.94	2.64	0.25	8.97	0.21	15.58	19.68	0.75		
shat_2_ol	37.6	–	–	–	26.01	0.28	35.2	0.17	–	1039.70	6
shat_2_px	51.26	0.94	2.64	0.25	8.97	0.21	15.58	19.68	0.75		
shat_2_ol	37.57	–	–	–	26.04	0.27	35.19	0.18	–	1039.36	5
shat_2_px	51.26	0.94	2.64	0.25	8.97	0.21	15.58	19.68	0.75		
shat_2_ol	37.58	–	–	–	26.03	0.28	35.18	0.18	–	1040.76	5
shat_2_px	51.25	0.95	2.62	0.2	8.98	0.2	15.59	19.68	0.74		
shat_2_ol	37.6	–	–	–	26.01	0.28	35.2	0.17	–	1041.07	6
shat_2_px	51.25	0.95	2.62	0.2	8.98	0.2	15.59	19.68	0.74		
shat_2_ol	37.57	–	–	–	26.04	0.27	35.19	0.18	–	1040.73	5
shat_2_px	51.25	0.95	2.62	0.2	8.98	0.2	15.59	19.68	0.74		

Геологическое строение Шатакского комплекса, а именно наличие базальтов и риолитов в кузъелгинской подсвите и базальтов в казавдинской, калпакской и каранской подсвитах, различающихся по времени излияния позволяет предполагать существование нескольких взаимосвязанных промежуточных очагов (см. рис. 3а). Эволюция расплава в промежуточных камерах/очагах определялась, по нашему мнению, действием AFC процесса [De Paolo, 1981], который характеризовался фракционированием ликвидусных фаз (оливин ± клинопироксен) и накоплением флюидной фазы в прикровельной части камеры/очага, с одной стороны, и ассимиляцией вмещающих пород — с другой. Реальность действия AFC процесса доказывается наличием пикритов как продуктов фракционирования оливина и клинопироксена, а также эволюцией Sm-Nd системы в магматических породах Шатакского комплекса, свидетельствующей об ассимиляции расплавом архейских и палеопротерозойских пород (рис. 4).

В это же время в магматическую камеру попадают ксеногенные цирконы из контаминированного вещества, хорошая сохранность кристаллографических форм которых свидетельствует о том, что они представляют собой «магматические» цирконы из архейско-палеопротерозойского гранитогнейсового субстрата, т. к. для цирконов из терригенных пород Шатакского комплекса характерны окатанные формы [Ковалев и др., 2018б].

2 этап (стадия). На следующем этапе происходит излияние базальтов кузъелгинской подсвиты (см. рис. 3б). Потоки формировались в прибрежной зоне через аппараты центрального типа, о чем

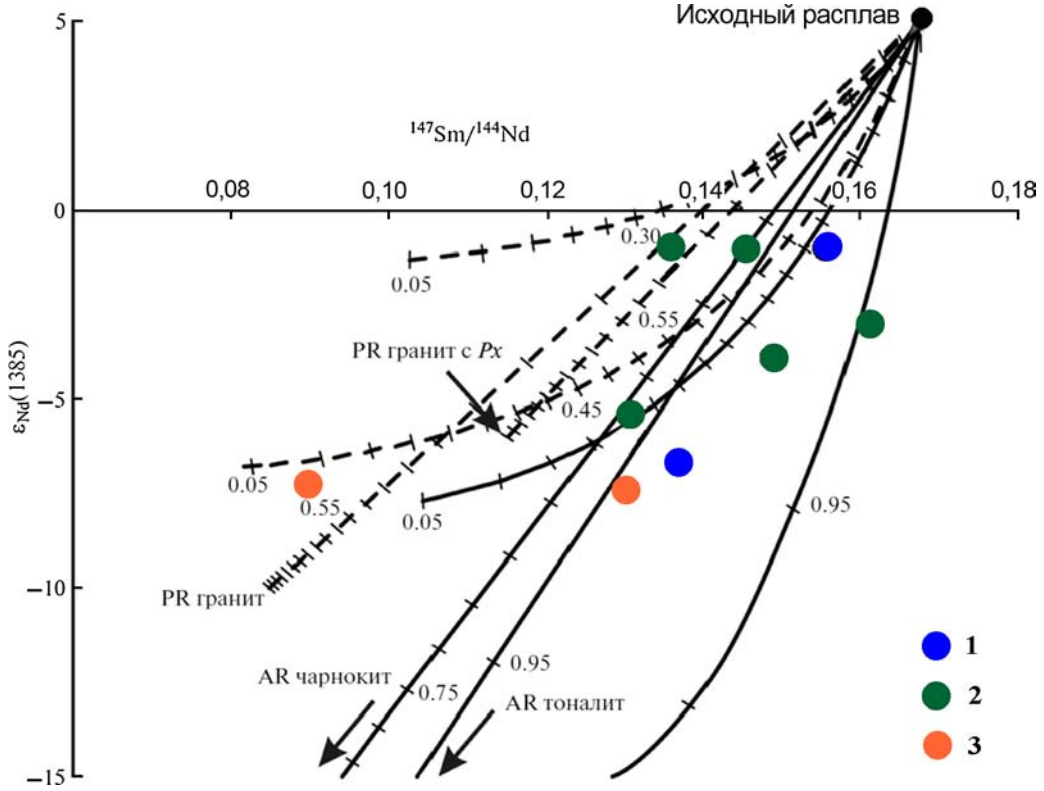


Рис. 4. Диаграмма εNd(T) – $^{147}Sm/^{144}Nd$ для магматических пород Шатакского комплекса (1 — пикриты; 2 — базальты, 3 — риолиты) с линиями смешения и процесса AFC для предполагаемого исходного расплава и разновозрастных коровых контаминантов. По [Носова и др., 2012]

Значения εNd(T) рассчитаны для контаминанта на возраст 1385 млн лет. Линии смешения и линии AFC показаны сплошными для архейских контаминантов и пунктирными для палеопротерозойских контаминантов, черточки и цифры на линиях соответствуют доле исходного расплава для модели смешения и доле оставшегося расплава (F) для модели AFC. В качестве архейских контаминантов приняты составы тоналита из скв. Сулеевская [Бибикова и др., 2008] и чарнокита из Тараташского блока [Ларин, 2010]; в качестве палеопротерозойских — два различных гранита из скв. Терсинской [Бибикова и др., 2008].

Fig. 4. Diagram of εNd(T) – $^{147}Sm/^{144}Nd$ for magmatic rocks of the Shatak complex (1 — picrites, 2 — basalts, 3 — rhyolites) with mixing lines and AFC-process for the assumed initial melt and uneven-aged crustal contaminants. By [Nosova et al., 2012]

The values of εNd(T) were calculated for the contaminant at the age of 1385 Ma. The mixing lines and AFC lines are shown as solid for Archean contaminants and dotted for Paleoproterozoic contaminants, dashes and numbers on the lines correspond to the proportion of the initial melt for the mixing model and the fraction of the remaining melt (F) for the AFC model. As Archean contaminants, the compositions of tonalite from the well. Suleevskaya [Bibikova et al., 2008] and charnockite from the Taratash block were adopted [Larin, 2011]; as Paleoproterozoic — two different granites from the borehole Tersinskaya [Bibikova et al., 2009].

свидетельствуют находки палеовулканических построек [Парначев и др., 1986]. Вероятнее всего, некоторая часть базальтов внедрилась в слаболитифицированные либо нелитифицированные осадки, чем может объясняться отсутствие окатанного материала базальтового состава в конгломератах кузъелгинской подсвиты. После излияния базальтов кузъелгинской подсвиты внедряются риолиты. Обогащенность магмы летучими компонентами приводит к метаморфизму уже сформированных магматических образований Шатакского комплекса, о чем свидетельствует Rb-Sr эрохронный возраст магматических пород — 1376±31 млн лет и Sm-Nd эрохронный возраст риолитов — 1371±110 млн лет [Ковалев и др., 2018а]. Сразу после риолитов изливаются базальты казавдинской подсвиты. Нельзя исключить того, что эти базальты являются дериватом того же локального магматического очага, что и кузъелгинские базальты, а риолиты представляют собой субвулканические тела, сформировавшиеся несколько позже.

3 этап (стадия) характеризуется затуханием магматизма во всех его формах (см. рис. 3в). В этот период формируются песчано-сланцевые толщи быковской подсвиты.

4 этап (стадия). На этом этапе происходит излияние основной массы базальтов Шатакского комплекса. Примечательно, что процесс носит дискретный характер; фазы активного вулканизма (калпакская, каранская подсвиты) сменяются накоплением песчано-сланцевого материала (куянтавская, шакитарская подсвиты) без видимых проявлений магматизма.

Кроме того, как свидетельствуют материалы по геохимии магматических пород Шатакского комплекса (рис. 5), в базальтах кузъелгинской подсвиты содержится большее количество РЗЭ

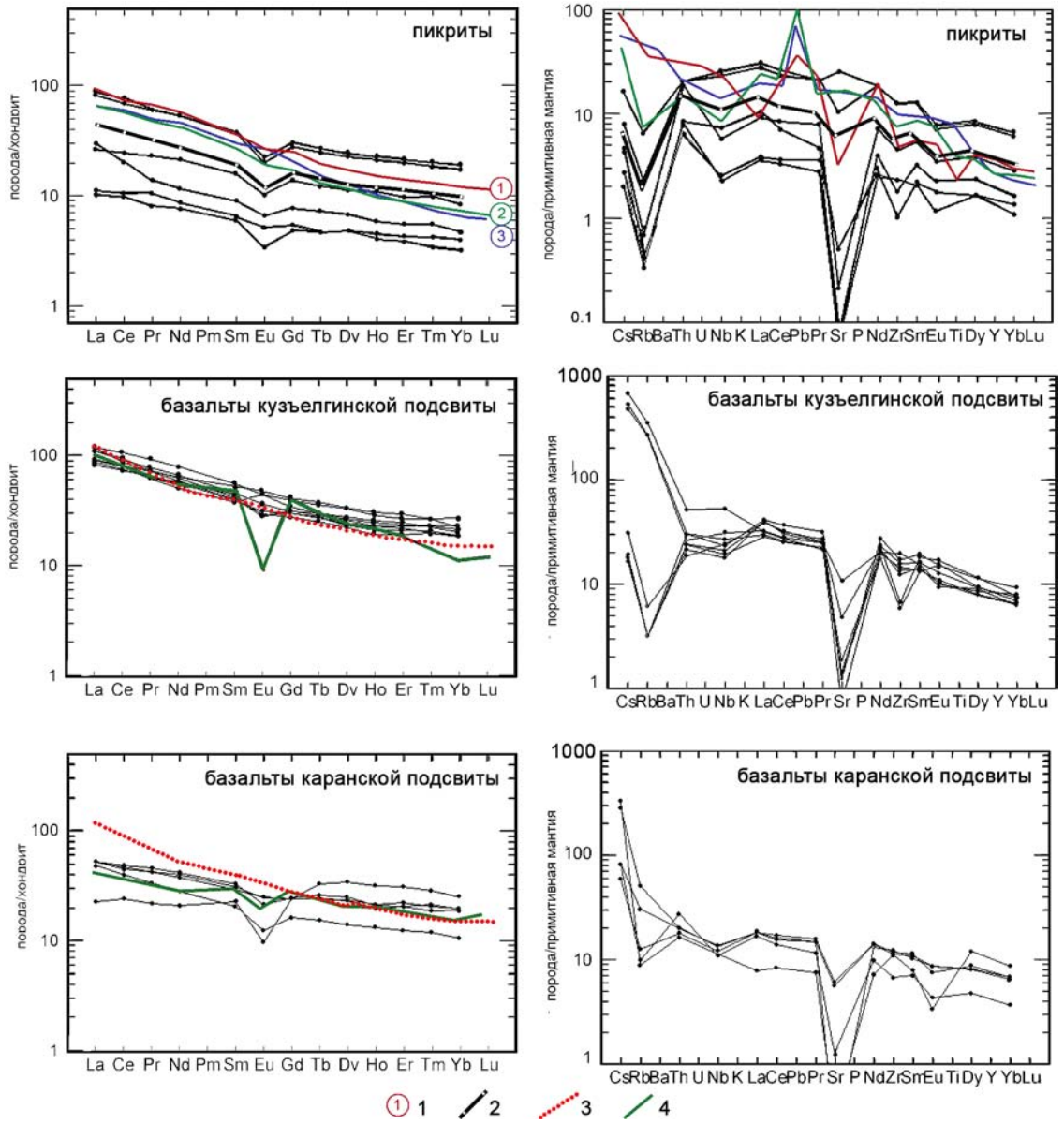


Рис. 5. Графики нормализованных содержаний РЗЭ и спайдер-диаграммы для магматических пород Шатакского комплекса

Условные обозначения: 1 — пикритовые комплексы Башкирского мегантиклинория (1 — Шуйдинский комплекс; 2 — Лапыштинский комплекс; 3 — Мисаелгинский комплекс) по [Ковалев, 2011]; 2 — средний состав пикритов Шатакского комплекса; 3 — внутриплитные базальты (субщелочные оливиновые базальты, вулканический центр Бойна, Эфиопия по [Barberi et al., 1975]); 4 — базальты машакской свиты по [Савельев и др., 2009]. Хондрит и примитивная мантия по [McDonough, Sun, 1995].

Fig. 5. Graphs of normalized REE contents and spider diagrams for igneous rocks of the Shatak complex

Legend: 1 — picritic complexes of the Bashkirian meganticlinorium (1 — Shuydinsky complex, 2 — Lapishty complex, 3 — Misaelginsky complex) by [Kovalev, 2011]; 2 — average composition of picrites of the Shatak complex; 3 — intraplate basalts (subalkaline olivine basalts, Boyne volcanic center, [Barberi et al., 1975]), 4 — basalts of the Mashak Formation [Saveliev et al., 2009], Chondrite and primitive mantle after [McDonough, Sun, 1995].

по сравнению с аналогами из каранской подсвиты, что можно объяснить связанностью локальных очагов (см. рис. 3а) и перераспределением части РЗЭ в составе флюидной фазы.

Как было установлено предыдущими работами [Парначев и др., 1986; Савельев и др., 2009] и нашими исследованиями, базальты Шатакской и Машакской палеоструктур характеризуются наличием столбчатой отдельности, свидетельствующей о наземном типе вулканизма. В то же время в Ишлинском грабене (Улуелгинско-Кудашмановская зона) описаны среднерифейские отложения (черносланцевые породы в ассоциации с субвулканическими долеритами, метабазальтами и пирокластикой [Ковалев и др., 2013]), в магматических породах которых присутствует шаровая отдельность. То есть базальтовый магматизм «машакского» времени распространялся и на морские (океанические) пространства (см. рис. 3 г), а приуроченность основной фазы вулканизма к прибрежным районам определялась особенностями структурно-тектонического строения формирующейся рифтовой системы.

Таким образом, приведенный выше материал свидетельствует о том, что генезис всего разнообразия магматических пород Шатакского комплекса (пикритов, базальтов, риолитов) удовлетворяет условиям AFC процесса, заключающегося в фракционировании ликвидусных фаз (оливин ± клинопироксен) и накоплении флюидной фазы в прикровельной части камеры/очага, с одной стороны, и ассимиляции вмещающих пород — с другой.

Работа выполнена в рамках Государственного задания (тема № 0252-2017-0012).

Список литературы:

Бибикова Е.В., Богданова С.В., Ларионов А.Н. Новые данные о раннеархейском возрасте гранитоидов Волго-Уральского сегмента Восточно-Европейского кратона // Доклады РАН. – 2008. – Т. 419, № 2. – С. 219–233.

Добрецов Н.Л., Борисенко А.С., Изох 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.

Ковалев С.Г. Новые данные по геохимии диабаз-пикритового магматизма западного склона Южного Урала и условия его формирования // Литосфера. – 2011. – № 2. – С. 68–83.

Ковалев С.Г., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. Изотопно-геохимическое (Rb-Sr, Sm-Nd) изучение магматических пород Шатакского комплекса (Башкирский мегантиклинорий) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий: Мат-лы и доклады / 12-я Межрегиональная научно-практическая конференция; Уфа, 21–23 мая 2018 г. – Спб: Свое издательство, 2018а. – С. 256–262.

Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Высоцкий С.И., Ковалев С.С. Находки «древних» цирконов в магматических породах Шатакского комплекса (Южный Урал) и их петрогенетические следствия // Доклады РАН. – 2018б. – В печати.

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) // Доклады РАН. – 2017. – Т. 475, № 2. – С. 171–175.

Ларин А.М. Граниты рапакиви и ассоциирующие породы — геология, возраст, источники, минерагения. – СПб., 2010. – 310 с.

Носова А.А., Сазонова Л.В., Каргин А.В., Ларионова Ю.О., Ковалев С.Г. Мезопротерозойская внутриплитная магматическая провинция Западного Урала: основные петрогенетические типы пород и их происхождение // Петрология. – 2012. – Т. 20, № 4. – С. 392–428.

Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М. Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. – 105 с.

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.

Савельев Д.Е., Пучков В.Н., Ардисламов Ф.Р., Сначев В.И. Вулканогенные породы машакской свиты среднего рифея: геология и петрогеохимия // Литосфера. – 2009. – № 4. – С. 3–26.

Barberi F., Ferrara G., Santacroce R. A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallisation, the Boina centre (Afar rift, Ethiopia) // J. Petrol. – 1975. – No 1. – P. 65–78. – doi.org/10.1093/petrology/16.1.22.

De Hoog J.C.M., Gall L., Cornell D.H. Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry // Chemical Geology. – 2010. – 270. – P. 196–215. – doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.11.017.

De Paolo D.J. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fracional crystallization // Earth Planet. Sci. Lett. – 1981. – 53. – P. 189–202. – doi.org/10.1016/0012-821x(81)90153-9.

Ernst R.E. Large Igneous Provinces. – Cambridge University Press, 2014. – 653 p. – doi.org/10.1017/cbo9781139025300.

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.

McDonough W.F., Sun, S.-S. Composition of the Earth // Chemical Geology. – 1995. – V. 120. – P. 223–253. – DOI: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.

Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V., Krasnobaev 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.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021.

Reference:

Barberi F., Ferrara G., Santacroce R. A transitional basalt-pantellerite sequence of fractional crystallisation, the Boina centre (Afar rift, Ethiopia) // J. Petrol. 1975. No. 1. P. 65–78. doi.org/10.1093/petrology/16.1.22.

Bibikova E.V., Fedotova A.A., Kirnozova T.I., Fugzan M.M., Bogdanova S.V., Larionov A.N., Postnikov A.V., Popova L.P. New data on the early archean age of granitoids in the Volga-Ural segment of the East European craton // DAN. 2008. T. 419. No. 1. P. 243–247. DOI: 10.1134/S1028334X08020128.

De Hoog J.C.M., Gall L., Cornell D.H. Trace-element geochemistry of mantle olivine and application to mantle petrogenesis and geothermobarometry // Chemical Geology. 2010. 270. P. 196–215. doi.org/10.1016/j.chemgeo.2009.11.017.

De Paolo D.J. Trace element and isotopic effects of combined wallrock assimilation and fracional crystallization // Earth Planet. Sci. Lett. 1981. 53. P. 189–202. doi.org/10.1016/0012-821x(81)90153-9.

Dobretsov N.L., Borisenko A.S., Izokh A.E., Zhmodik S.M. Termokhimicheskaya model' permotriasovykh mantiinykh plyumov Evrazii kak osnova dlya vyyavleniya zakonomernostei formirovaniya i prognoza medno-nikelevykh, blagorodno- i redkometal'nykh mestorozhdenii [Thermochemical model of permutriatic mantle plumes of Eurasia as a basis for revealing regularities of formation and forecast of copper-nickel, noble and rare metal deposits] // Geologiya i geofizika. 2010. T. 51. No. 9. P. 1159–1187. doi.org/10.1016/j.rgg.2010.08.002 (In Russian).

Ernst R.E. Large Igneous Provinces. Cambridge University Press, 2014. 653 p. doi.org/10.1017/cbo9781139025300.

Kovalev S.G. Novye dannye po geokhimii diabaz-pikritovogo magmatizma zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala i usloviya ego formirovaniya [New geochemical data and conditions of formation of diabase-picritic magmatism in the Southern Urals western slope] // Litosfera. 2011. No. 2. P. 68–83 (In Russian).

Kovalev S.G., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. Izotopno-geokhimicheskoe (Rb-Sr, Sm-Nd) izuchenie magmaticheskikh porod Shatakskogo kompleksa (Bashkirskii megantiklinorii) [Isotope-geochemical (Rb-Sr, Sm-Nd) study of igneous rocks of the Shatak complex (Bashkir meganticlinorium)] // Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territorii: Mat-ly i doklady / 12-ya Mezhregional'naya nauchno-prakticheskaya konferentsiy; Ufa, May, 21–23, 2018. Saint-Peterburg: Svoe izdatelstvo, 2018a. P. 256–262 (In Russian).

Kovalev S.G., Puchkov V.N., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. Nakhodki "drevnikh" tsirkonov v magmaticheskikh porodakh Shatakskogo kompleksa (Yuzhnyi Ural) i ikh petrogeneticheskie sledstviya [Finds of «ancient» zircons in igneous rocks of the Shatak complex (Southern Urals) and their petrogenetic consequences] // DAN, 2018b. [In print].

Kovalev S.G., Vysotsky I.V., Puchkov V.N., Maslov A.V., Gareev E.Z. Geokhimicheskaya spetsializatsiya strukturno-veshchestvennykh kompleksov Bashkirskogo megantiklinoriya. [Geochemical specialization of structural-material complexes of the Bashkir meganticlinorium] Ufa: DizainPress, 2013. 268 p. (In Russian).

Kovalev S.G., Puchkov V.N., Vysotsky S.I., Kovalev S.S. Conditions of formation of igneous rocks in plume magmatism at the example of the western slope of the Southern Urals // DAN. 2017. T. 475, No. 1. P. 743–747. doi.org/10.1134/s1028334x17070169.

Larin A.M. Granity rapakivi i assotsiiruyushchie porody — geologiya, vozrast, istochniki, minerageniya. [Granites of rapakivi and associated rocks — geology, age, springs, mineralogy] SPb., 2010. 310 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.

McDonough W.F., Sun, S.-S. Composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. V. 120. P. 223–253. DOI: 10.1016/0009-2541(94)00140-4.

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.

Parnachev V.P., Rotar' A.F., Rotar' Z.M. Srednerifeiskaya vulkanogenno-osadochnaya assotsiatsiya Bashkirskogo megantiklinoriya (Yuzhnyi Ural). [The Middle Riphean volcanogenic-sedimentary association of the Bashkir meganticlinorium (Southern Urals)] Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1986. 105 p. (In Russian).

Puchkov V.N., Kovalev S.G. Plyumovye sobytiya na Urale i ikh svyaz' s subglobal'nymi epokhami riftogeneza [Plume events in the Urals and their relationship to the subglobal epochs of rifting] // V sb. ontinental'nyi riftogenez, soputstvuyushchie protsessy. Irkutsk: IZK SO RAS, 2013. P. 34–38 (In Russian).

Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R., Kozlov V., Krasnobaev 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.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021.

Savel'ev D.E., Puchkov V.N., Ardislamov F.R., Snachev V.I. Vulkanogennye porody mashakskoi svity srednego rifeya: geologiya i petrogeokhimiya [Volcanic rocks of Middle Riphean Mashak suite: Geology and petrogeochemistry] // Litosfera. 2009. No. 4. P. 3–26 (In Russian).

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 autors:
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 551.21+552.11 DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-2

БАЙМАКСКИЙ КОЛЧЕДАНОНОСНЫЙ ПАЛЕОВУЛКАНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

© 2018 г. А. М. Косарев, И. Б. Серавкин, Г. Т. Шафигуллина

Реферат. В работе рассмотрены особенности минералогии, петрографии и геохимии вулканитов базальт-андезит-риодацитового состава баймакского колчеданоносного комплекса, завершающего формирование фронтальной островной дуги позднеэмсского возраста на Южном Урале. Использованы новые материалы по содержаниям микроэлементов (анализы ICP MS, ХЛ ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) и микрозондовые определения химического состава минералов (ХЛ ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск). Обсуждается сериальная принадлежность вулканитов и вопросы их петрогенеза. Породы этого комплекса имеют повышенную магнезиальность, представлены фациальным рядом, включающим тефроидные, эффузивные, пирокластические, экструзивные, субвулканические и гиповулканические породы. Рассмотрены вопросы типизации кислых пород и проблемы их генезиса. Предполагается, что в эффузивной фации присутствуют кислые породы — продукты кристаллизационной и флюидной дифференциации на путях движения расплавов к поверхности Земли, гибридные породы дацит-риодацитового состава, возникшие при загрязнении кислых магм частично или полностью раскристаллизованными габброидами или базитами предшествующих этапов вулканизма, и продукты частичного плавления базитов нижней коры. Спецификой вулканитов баймакского комплекса являются повышенные концентрации и большой размах колебаний Ba, Pb и Au как в слабоизмененных породах, так и в метасоматитах околорудных ореолов.
Ключевые слова: вулканизм, субдукция, геохимия, гибридизм, колчеданные месторождения

BAIMAK MASSIVE SULFIDE-BEARING PALEOVOLCANIC COMPLEX

A. M. Kosarev, I. B. Seravkin, G. T. Shafigullina

Abstract. The features of mineralogy, petrography and geochemistry of basalt-andesite-rhyodacite volcanics of the Baimak massive sulfide-bearing complex, the youngest in the frontal island arc of Late Emsian age in the Southern Urals, are considered. New materials on the content of trace elements are used (analyses of ICP MS, CL IGM SB RAS, Novosibirsk) and microprobe definitions of the chemical composition of minerals (CL IG KarSC RAS, Petrozavodsk). Serial affinity of volcanites and questions of their petrogenesis are discussed. The rocks of this complex have an elevated magnesium, and are represented by a facial succession, including tephroid, effusive, pyroclastic, extrusive, subvolcanic and hypovolcanic rocks. Issues of classification of acid rocks and problems of their genesis are considered. It is supposed that at the effusive facies are represented by acid rocks — products of crystallization and fluid differentiation at the way of the melts to the Earth's surface, and also by the hybrid rocks of dacite-rhyodacite composition which have arisen as a result of contamination of acid magmas by partially or completely crystallized gabbroids or basites of the previous stages of volcanism and by products of partial melting of basic rocks of the lower crust. Specifics of volcanites of the Baimak complex are in the increased concentration and big amplitude of fluctuations of Ba, Pb and Au, both in the slightly modified rocks, and in the metasomatics of the near-ore haloes.
Key words: volcanism, subduction, geochemistry, hybridism, massive sulfide deposits

Для цитирования: Косарев А.М., Серавкин И.Б., Шафигуллина Г.Т. Баймакский колчеданоносный палеовулканический комплекс // Геологический вестник. 2018. № 2. С. 14–35. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-2.

For citation: Kosarev A.M., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. Baimak massive sulfide-bearing paleovolcanic complex // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 14–35. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-2.

Введение

Баймакский колчеданоносный палеовулканический комплекс, являющийся верхней подсвитой баймак-бурибаевской свиты, выполняет ядерную часть сложной антиклинальной структуры Баймакского рудного района (60×30 км) на севере Таналыкского поднятия Западно-Магнитогорской зоны. Крылья антиклинальной структуры, нередко осложненные разрывными нарушениями, слагают вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы среднедевонского возраста ирендыкской и улутауской свит, кремнистые и терригенные породы позднедевонского возраста мукасовской и зилаирской свит. На западе Таналыкское поднятие граничит с зоной ГУР или Вознесенско-Присакмарской зоной, на востоке — с Ирендыкской структурно-фациальной зоной. Южнее Баймакского рудного района, в пределах Таналыкского поднятия, расположен Бурибайский рудный район.

Баймак-бурибаевская свита Таналыкского поднятия Западно-Магнитогорской зоны имеет позднеэмсский возраст (конодонтовые зоны serotinus, patulus) [Стратиграфия и корреляция..., 1993] и состоит из двух подсвит: нижней базальт-риолитовой и верхней базальт-андезит-дацит-риолитовой (рис. 1).

Баймакский палеовулканический комплекс, соответствующий верхней подсвите баймак-бурибаевской свиты [Биков и др., 1973 г.], представляет собой непрерывную формацию базальт-андезит-дацит-риодацитового состава [Кривцов и др., 1970; Среднепалеозойский..., 1983; Серавкин, 1986], позднее выделенную в верхнетаналыкскую свиту или комплекс [Вулканизм..., 1992], развитый на протяжении 150 км в пределах Тубинско-Гайской палеовулканической колчеданоносной подзоны от Баймакского рудного района на севере до Макан-Октябрьского рудного поля и Гайского рудного района на юге (рис. 1). По конодонтовой фауне [Маслов, Артюшкова, 2010], собранной на Хворостянском, Сагитовском, Майском участках, верхняя часть разреза баймак-бурибаевской свиты, включая верхнетаналыкский комплекс, соответствует конодонтовым зонам partitus, patulus позднеэмсского возраста. Необходимость выделения из состава верхнетаналыкского комплекса собственно баймакского комплекса диктуется петрохимическими и геохимическими особенностями вулканитов и интрузивных пород Баймакского рудного района, индивидуальными чертами геологического разреза и геофизических полей, характеризующимися низкими значениями гравитационного поля [Серавкин, Цветкова, 1982] и особым типом колчеданного оруденения, выделенного в золото-колчеданно-полиметаллический Баймакский, близкий к Куроко, тип [Колчеданные месторождения..., 1973; Медноколчеданные..., 1992; Серавкин, 1986, 2007].

Изучение химического состава минералов проведено С.Ю. Чаженгиной (ИГ КарНЦ РАН) на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) VEGA II LSH (Tescan) с энергодисперсионным микроанализатором INCA Energy 350 (Oxford instruments) при параметрах: W-катод, напряжение 20 кВ, время сканирования в стандартном режиме съемки 90 сек. Для исследования состава пироксенов применялся метод профилирования (съемка по профилю). Компьютерная обработка микрозондовых анализов минералов осуществлялась с помощью программы «MINAL» (автор Д.В. Доливо-Добровольский).

В работе использованы авторские и опубликованные количественные аналитические материалы по концентрациям петрогенных оксидов и элементов-примесей в вулканогенных породах Баймакского комплекса. Анализы сделаны в химических лабораториях ИГЕМ РАН, г. Москва и ИГМ СО РАН, г. Новосибирск (методы ICP-MS и рентгено-флюоресцентный анализ), в ИГ УФИЦ РАН, г. Уфа и ИМин УрО РАН, г. Миасс (силикатный, атомно-абсорбционный и рентгено-флюоресцентый анализ).

Краткая характеристика баймакского палеовулканического колчеданоносного комплекса

Баймакский палеовулканический комплекс залегает выше бурибайского комплекса. В геологическом разрезе по р. Таналык, выше по течению д. Хворостянки, аналоги баймакского комплекса (верхняя подсвита *b-br*) содержат в основании разреза толщу эффузивных пироксен-порфировых пиллоу-базальтов известково-щелочной серии мощностью около 300 м и перекрываются толщей эффузивных пироксен-плагиофировых андезибазальтов мощностью более 900 м. Завершается разрез в районе пос. Новопетровка пачкой переслаивания кислых пород и сургучно-красных яшмоидов с конодонтами зоны patulus. Перекрывается разрез баймакского комплекса вулканогенно-осадочными и вулканогенными отложениями ирендыкской свиты. В составе последней на востоке Баймакского рудного района в Ирендыкской зоне

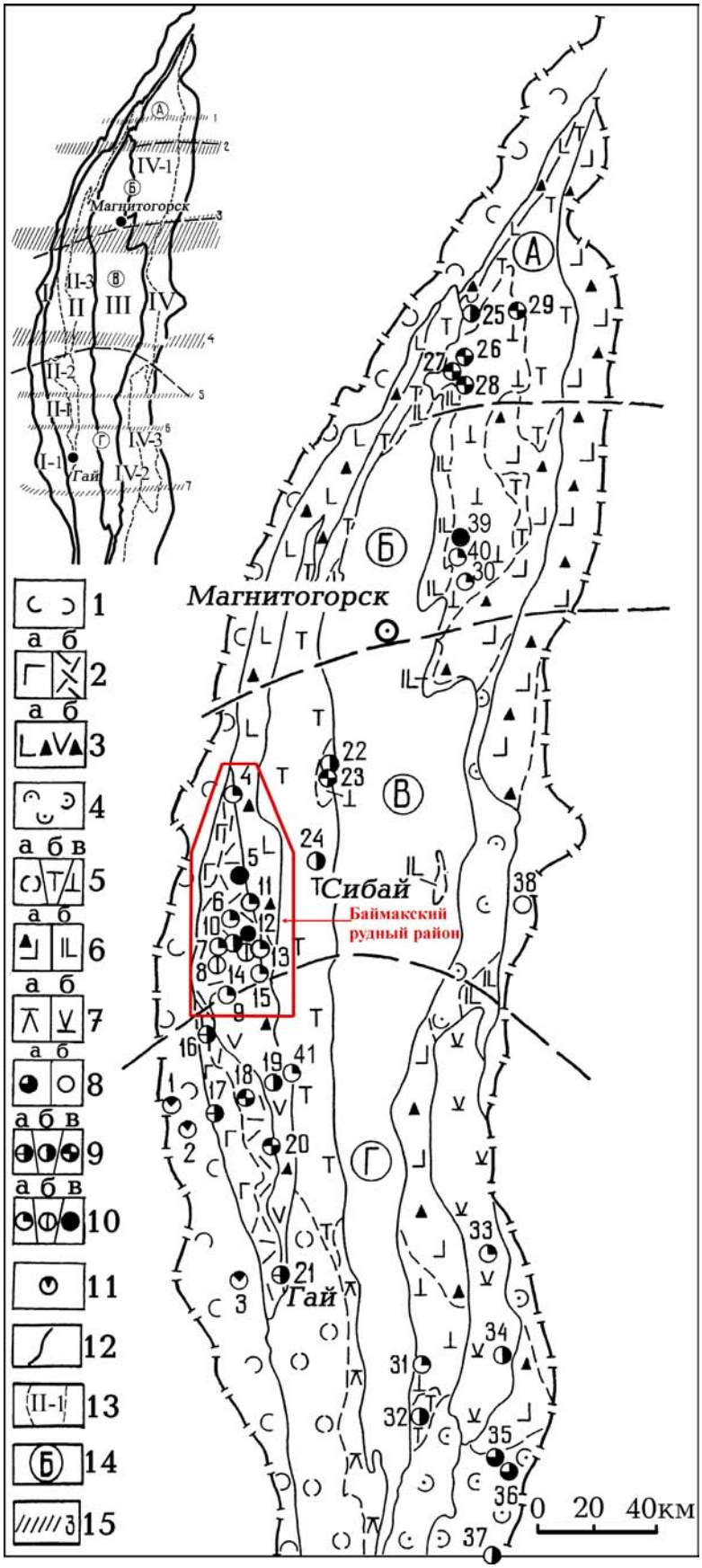


Рис. 1. Схематическая структурно-металлогеническая карта Магнитогорской мегазоны [Серавкин, 2007]

Формации и комплексы: 1 — базальтовая (O–S); 2 — базальт-риолитовая (D_1ems): контрастный (а) и непрерывный (б) комплексы; 3 — андезито-базальтовая (D_2ef): базальт-андезибазальтовый (а) и гибридный базальт-андезит-риолитовый (б) комплексы; 4 — базальтовая (D_1ems); 5 — базальт-риолитовая (D_2): базальтовый (а), контрастный (б) и непрерывный (в) комплексы; 6 — андезито-базальтовая (D_2) — а, базальт-андезито-базальтовая K-Na (D_3f) — б; 7 — базальт-андезит-риолитовая: юсинский (а) (D_2) и джусинский (б) (D_{1-2}) комплексы. **Колчеданные месторождения:** 8 — медно-колчеданные (Домбаровский тип) (а), цинковые (Филизчайский тип) (б), 9 — цинково-медно-колчеданные, Cu > Zn (а), медно-цинковоколчеданные, Cu < Zn (б) и медно-цинковоколчеданные с полиметаллической минерализацией (в) (Уральский тип); 10 — золото-колчеданно-полиметаллические (а), золото-барит-полиметаллические (б) и золото-колчеданные (в) (Баймакский тип); 11 — кобальт-медно-цинковоколчеданные (Ивановский тип). **Названия колчеданных месторождений:** 1 — Ивановское, 2 — Дергамышское, 3 — Ишкининское, 4 — Тубинская группа, 5 — Куль-Юрт-тау, 6 — Уваряж, 7 — Бакр-тау, 8 — Горная Байкара, 9 — Майское, 10 — Таш-тау, 11 — Таналык-Баймакское, 12 — Семеновское, 13— Юлалинское, 14 — Туба-Каин, 15 — Балта-тау, 16 — Юбилейное, 17 — Бурибайское, 18 — Маканская группа, 19 — Подольское, 20 — Мамбетовское, 21 — Гайское, 22 — Бакр-Узяк, 23 — Южный Бакр-Узяк, 24 — Сибайское, 25 — Учалинское, 26 — Озерное, 27 — Узельгинское, 28 — Молодежное, 29 — Таш-Яр, 30 — Александринское, 31 — Иссиргужинское, 32 — Западно-Ащебутакское, 33 — Джусинское, 34 — Барсучий Лог, 35 — Летнее, 36 — Осеннее, 37 — Весеннее, 38 — Амурское, 39 — Сабановское, 40 — Бабарыкинское, 41 — Восточно-Подольское. **Схема районирования:** 12 — границы Магнитогорской мегазоны и структурно-формационных зон 1-го порядка: I — Вознесенско-Присакмарская (ГУР), II — Западно-Магнитогорская, III — Центрально-Магнитогорская, IV — Восточно-Магнитогорская; 13 — границы и номера колчеданоносных зон (поясов) 2-го порядка: I–1 — Присакмарская, II–1 — Таналыкская (Тубинско-Гайская), II–2 — Ирендыкская, II–3 — Узункыро-Сибайско-Орская (Кизило-Уртазымская), IV–1 — Учалинско-Александринская, IV–2 — Ащебутакская, IV–3 — Джусинско-Домбаровская, IV–4 — Гумбейская; 14 — поперечные блоки: А — Учалинский, Б — Магнитогорско-Верхнеуральский, В — Баймакско-Кацбахский, Г — Орско-Джусинский; 15 — широтные дислокации, выделенные по геофизическим данным: 1 — Буйдинская, 2 — Белорецкая, 3 — Агаповская, 4 — Юлалинская, 5 — Подольская, 6 — Новочеркасская, 7 — Орская.

← Fig. 1. The schematic structural-metallogenic map of the Magnitogorsk megazone [Seravkin, 2007]

Formations and complexes: 1 — basalt (O–S); 2 — basalt-rhyolitic (D1ems): contrast (a) and continuous (б) complexes; 3 — andezito-basalt (D_2ef): basalt-andezibasalt (a) and hybrid basalt-andesite-rhyolitic (б) complexes; 4 — basalt (D1ems); 5 — basalt-rhyolitic (D_2): basalt (a), contrast (б) and continuous (в) complexes; 6 — andezito-basalt (D_2) (a), 6 — basalt-andezibasalt K-Na (D_3f) (б); 7 — basalt-andesite-rhyolitic: Yusinsk (a) (D_2), Dzhusinsk (б) (D_{1-2}) complexes. **Massive sulphide deposits:** 8 — copper-pyrite (Dombarovsky type) (a), zinc (Filizchaysky type) (б); 9 — zinc copper-pyrite, Cu > Zn (a), Zn, copper-zinc-pyrite, Cu < Zn (б) and copper-zinc-pyrite with polymetallic mineralization (в) (Ural type); 10 — gold-pyrite-polymetallic (a), gold-barite-polymetallic (б) and gold-pyrite (в) Baimaksky type; 11 — cobalt-copper-zinc-pyrite (Ivanovsky type). **The names of the base metal massive sulphide deposits:** 1 — Ivanovskoe, 2 — Dergamysh, 3 — Iskinino, 4 — Tubin group, 5 — Kul-Yurt-Tau, 6 — Uvaryazh, 7 — Bakr-Tau, 8 — Gornaya Baykara, 9 — Mayskoye, 10 — Tash-Tau, 11 — Tanalyk-Baimak, 12 — Semyonovskoye, 13 — Ulalinskoe, 14 — Tuba-Kain, 15 — Balta-Tau, 16 — Jubileynoye, 17 — Buribayskoye, 18 — Makan group, 19 — Podolskoye, 20 — Mambetovskoe, 21 — Gai, 22 — Bakr-Uzyak, 23 — Southern Bakr-Uzyak, 24 — Sibajskoe, 25 — Uchalinskoye, 26 — Ozernoye, 27 — Uzelginskoye, 28 — Molodezhnoe, 29 — Tash Yar, 30 — Aleksandrinskoye, 31 — Issirguzhinskoe, 32 — West-Aschebutakskoye, 33 — Dzhusinskoye, 34 — Barsuchy Log, 35 — Letneye, 36 — Osenneye, 37 — Vesenneye, 38 — Amurskoye, 39 — Sabanovskoye, 40 — Babarykinskoe, 41 — East-Podolskoyoe. **Structural units on the insert:** 12 — borders of the Magnitogorsk megazone and structure-formational zones of the Ist order: I — Voznesensko-Prisakmarskaya (MUF), II — West-Magnitogorskaya, III — Central-Magnitogorskaya, IV — East-Magnitogorskaya; 13 — boundaries and numbers of pyrite-bearing zones (belts), II-nd order: I–1 — Prisakmarskaya, II–1 — Tanalykskaya (Tubinsko-Gajskaya), II–2 — Irendykskaya, II–3 — Uzunkyro-Sibajsko-Orskaya (Kizilo-Urtazymskaya), IV–1 — Uchalinsko-Alexandrinskaya, IV–2 — Ashebutakskaya, IV–3 — Djusinsko-Dombarovskaya, IV–4 — Gumbejskaya; 14 — transverse blocks: A — Uchaly, Б — Magnitogorsko-Verkhneuralsky, B — Bajmaksko-Katsbakhskij, Г — Orsko-Djusinsk; 15 — latitudinal dislocations: 1 — Bujdinskaya, 2 — Beloretskaya, 3 — Agapovskaya, 4 — Ulalinskaya, 5 — Podolskaya, 6 — Novocherkasskaya, 7 — Orskaya.

преобладают вулканиты базальт-андезибазальтового состава. В западном направлении ирендыкская свита резко сокращается в мощности до нескольких десятков и первых сотен метров, а в ее составе преобладают гибридные кварцевые андезидациты, андезиты, андезибазальты и вулканогенно-осадочные тефрогенные породы [Косарев, 1977; Знаменский, Косарев, 2003]. В пределах Баймакского рудного района традиционно выделяются [Колчеданные месторождения..., 1973] Западно-, Центрально-, и Восточно-Баймакская структурно-формационные подзоны.

Баймакский палеовулканический комплекс выделялся ранее [Колчеданные месторождения..., 1973; Вулканизм..., 1992] как вулканоплутонический, в связи с широким распространением интрузивных тел плагиогранитов гиповулканической фации, обломки которых встречаются в вулканогенно-осадочных породах низов ирендыкской свиты. В строении Баймакского блока, по данным И.Б. Серавкина [Вулканизм..., 1992], выделяется два ритма вулканизма, соответствующие двум субформациям (рис. 2). Нижний ритм (нижняя толща) сложен толщей диабазов, диабазовых и андезибазальтовых порфиритов, туфов и вулканических брекчий с подчиненным количеством пиллоубазальтов (спилитовидных), вариолитов и прослоев кремнистых пород, а также локально развитыми эффузивами и туфами кислого состава.

Верхний ритм (верхняя толща) образован подтолщами андезибазальтового, андезитового, андезидацитового и дацит-риолитового состав общей мощностью, достигающей 700 м.

По данным И.Б. Серавкина, ниже приведен разрез верхней (андезибазальт-андезит-дацит-риолитовой) толщи (D_1e_2b–br_2^2), обнаженный в синклинали г. Каменной Центрально-Баймакской зоны, в котором залегают (снизу вверх):

1. Гравийные туфы андезитовых порфиритов, к востоку фациально замещаются эффузивными андезитовыми порфиритами, мощность 70 м.
2. Эффузивный поток стекловатых дацитовых порфиритов, мелкопорфировых, мощность 20–50 м.
3. Гравийные туфы андезитовых порфиритов, мощность 40 м, обнажены в южном замыкании синклинали, к СЗ и ЮВ вблизи линии разреза выклиниваются, фациально замещаясь эффузивными андезибазальтовыми порфиритами и их туфами.
4. Эффузивный поток дацитовых порфиритов, мощность 0–25 м.
5. Андезибазальтовые порфириты плагиоклазовые, к западу фациально замещаются туфами того же состава, мощность 0–50 м.
6. Лапиллиевые туфы андезибазальтовых порфиритов, к востоку на этом стратиграфическом уровне залегают дацитовые порфириты, мощность 70–120 м.
7. Андезибазальтовые порфириты, мощность около 100 м.
8. Туфовые брекчии андезибазальтовых порфиритов, мощность 30 м. Слагают вершину г. Каменной, залегая местами резко несогласно на подстилающих вулканитах.

Вышележащий разрез слагает ядро синклинальной структуры, закартированное севернее линии разреза [Колчеданные месторождения..., 1973]. Здесь обнажены:

9. Дацитовые порфириты, образующие небольшую лавовую постройку к СЗ от линии разреза, мощность 0–50 м.
10. Массивные андезитовые порфириты, мощностью 20–70 м, к СВ среди них картируется эффузивный поток дацитовых порфиритов.
11. Эффузивный поток риодацитов, мощностью 10 м.
12. Диабазы, мощностью 50–70 м.

13. Риодацитовый порфир, в обнажении К-3 закартирован переход этих кислых эффузивов в дайку аналогичного состава, имеющую северо-восточное простирание, мощность эффузивного потока (видимая) — 20 м.

Характерной чертой строения верхней толщи баймакского комплекса является чередование в разрезе вулканитов андезибазальтового, андезитового и кислого состава, образующих 7 ритмов разного масштаба и одного ритма, где кислые породы подстилаются базальтами и перекрываются риодацитовыми эффузивами.

Наиболее мощная пачка кислых пород располагается в верхней части разреза баймакского комплекса. К этому стратиграфическому уровню приурочены многочисленные мелкие золото-колчеданно-полиметаллические и барит-полиметаллические месторождения [Колчеданные месторождения..., 1973; Серавкин, 1986].

В Восточно-Баймакской зоне на Юлалинской площади авторами изучен керн глубоких структурно-поисковых скважин, которые вскрыли колчеданное оруденение баймакского типа на участках рудопроявлений «Утреннего» и «Звездного». Геологический разрез этих участков сложен средними, кислыми и в меньшей степени основными вулканитами, характерными для верхней части разреза баймакского колчеданоносного комплекса. Выше вулканитов баймакского комплекса, в котором залегают пластовые тела колчеданных руд, следует разрез вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород ирендыкской и улутауской свит [Кулешов, Зайков, 2005].

По обобщенным геологическим материалам в верхней части разреза баймакского комплекса в Восточно-Баймакской подзоне залегает пестрая по составу толща, которая состоит (снизу вверх

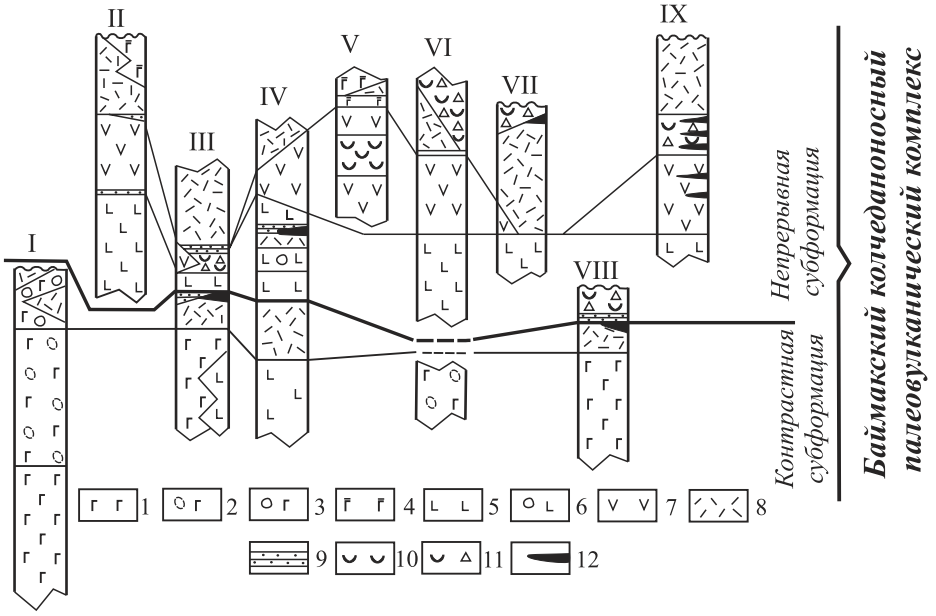


Рис. 2. Схема корреляции разрезов (D_1e_2) Баймакского рудного района. Составлена И.Б. Серавкиным с использованием материалов А.Г. Волчкова, А.Д. Ситнова, В.М. Рудакова и И.В. Рачева [Салихов и др., 1997]

I, II, V, VI — участки: Куян-Тау (I), Горная Байкара – Аргаган (II), горы Каменной (V), «Белая Глинка» (VI); III, IV, VII–IX — рудные поля: Бакр-Тау (III), Таш-Тау (IV), Майское (VII), Тубинское (VIII), Восточно-Семеновское (IX).

Условные обозначения: 1 — афировые однородные базальты; 2 — подушечные спилитовидные базальты и вариолиты; 3 — туфы и туфовые брекчии базальтов; 4 — базальтовые порфириты; 5 — андезибазальтовые порфириты плагиоклазовые; 6 — туфы и туфовые брекчии андезибазальтов; 7 — андезитовые и андезидацитовые порфириты и их пирокластические производные; 8 — кислые эффузивы; 9 — вулканогенно-осадочные породы; 10 — переслаивающиеся эффузивы и туфы кислого, среднего, основного состава; 11 — туфы и туфовые брекчии с разнообразным составом обломков; 12 — колчеданные месторождения.

Fig. 2. The scheme of correlation of sequences (D_1e_2) of the Baimak ore district. Compiled by I.B. Seravkin with use of materials of A.G. Volchkov, A.D. Sitnov, V.M. Rudakov and I.V. Rachev [Salikhov et al., 1997]

I, II, V, VI — sites: Kuyan-Tau (I), Gornaya Baykara – Argagan (II), Kamennaya mountain (V), “Belaya Glinka” (VI); III, IV, VII–IX — ore fields: Bakr-Tau (III), Tash-Tau (IV), Mayskoye (VII), Tubinsky (VIII), East Semenovsky (IX).

Legend: 1 — aphyric uniform basalts; 2 — pillow spilitic basalts and variolites; 3 — tuffs and tuff breccias of basalts; 4 — basaltic porphyrites; 5 — plagioclase andesibasaltic porphyrites; 6 — tuffs and tuff breccias of andesibasalts; 7 — andesitic and andesite-dacitic porphyrites and their pyroclastic derivatives; 8 — acidic effusives; 9 — volcano-sedimentary rocks; 10 — the interstratified effusives and tuffs of acidic, intermediate, basic composition; 11 — tuffs and tuff breccias with various composition of fragments; 12 — massive sulphide deposits.

по разрезу) из эффузивных андезитов и андезибазальтов, риодацитов и дацитов крупнопорфировых кварц-роговообманково-пироксен-плагиоклазовых, дацитов полустекловатых плагиофировых, общей мощностью более 700 м. В скв. 4186 в рудном интервале (495.3–501.3 м) присутствует горизонт тефрогенных песчаников, гравелитов и кремнистых пород, превращенных в хлорит-серицит-кварцевые метасоматиты с сульфидной минерализацией. Оруденение и геологический разрез «Утреннего» и «Звездного» рудопроявлений, являются типичными для Баймакского рудного района и относятся к Au-колчеданному барит-полиметаллическому Баймакскому типу месторождений, близкому к Куроко. Завершается разрез толщей кислых тефроидов, содержащей прослои кремнистых радиоляритов майской толщи [Биков и др., 1973 г.] или сагитовской толщи, по В.А. Маслову и О.В. Артюшковой [Стратиграфия и корреляция..., 1993], в которой на Сагитовском и Майском участках собраны конодонты зоны patulus позднеэмсского возраста [Маслов, Артюшкова, 2010].

Фациальные типы и группы вулканогенных и интрузивных пород баймакского колчеданоносного комплекса

Баймакский колчеданоносный палеовулканический комплекс представляет собой непрерывную базальт-андезит-дацит-риодацитовую формацию с довольно четким гомодромным характером эволюции вулканизма. Ассоциация вулканических пород Баймакского рудного района является полифациальным комплексом, в который входят следующие фации: подводная эффузивная и лавокластитовая, пирокластическая, тефроидная, экструзивная, субвулканическая, гиповулканическая. В нижней части разреза, представляющей, по данным И.Б. Серавкина, нижний ритм вулканизма, преобладают вулканиты базальт-андезибазальтового состава, включающие диабазы, базальтовые пироксен-плагиоклазовые порфириты, вариолиты и локально проявленные кислые породы. В небольших объемах базальтовые порфириты присутствуют в толщах второго ритма вулканизма, что отмечено в приведенных послойных фрагментах разрезов. В разрезе рудопроявления «Утреннего» в Восточно-Баймакской зоне скважиной 4115 в верхней части разреза баймакского комплекса вскрыта толща базальтовых порфиритов пироксен-плагиоклазовых мощностью около 300 м. В верхней толще баймакского комплекса на отдельных участках присутствуют фрагменты разреза андезибазальт-андезитового состава, андезит-дацит-риодацитового состава при незначительном присутствии риолитов. В целом в баймакском комплексе доля кислых пород в отдельных фрагментах разрезов возрастает снизу вверх по разрезу.

Эффузивные базальты и базальтовые порфириты представлены массивными и подушечными разновидностями, ассоциируются с вариолитами, нередки миндалекаменные, вплоть до шлаковидных разновидностей, в которых количество миндалин достигает 50% объема породы. Миндалины выполнены хлоритом, кварцем, карбонатом. Описаны миндалины альбит-хлоритового состава [Колчеданные месторождения..., 1973].

Вкрапленники в вариолитовых порфиритах принадлежат, главным образом, плагиоклазу; в подчиненном количестве присутствует клинопироксен. В виде прослоев среди базальтов присутствуют в небольших объемах гиалокластиты.

Эффузивные средние породы представлены андезибазальтами и андезитами при преобладании в аналитических материалах последних. «Стекловатые» андезибазальты и андезиты обладают плотной полустекловатой основной массой, под микроскопом имеющей витрофировую, гиалопилитовую, пилотакситовую и микролитовую структуру. Вкрапленники плагиоклаза (0.5–1.5 мм), псевдоморфозы по роговой обманке и пироксену составляют около 5–7% объема породы. Основная масса пород разбита перлитовыми микротрещинами, которые в сочетании с мозаичным окварцеванием создают своеобразные ячеистые структуры [Колчеданные месторождения..., 1973]. Широким распространением пользуются лавокластиты андезибазальтового и андезитового состава. Под воздействием тектоники, динамометаморфизма и метасоматоза брекчии андезитов и андезибазальтов приобретают такситовый «метафлюидально-обломочный» игнимбритовидный облик. В андезитовых порфиритах встречаются псевдоморфозы по пироксену и роговой обманке, плагиоклаз, редко ранний титаномагнетит. Эффузивные андезибазальты и андезиты имеют значительные суммарные мощности (до 600 м) и образуют в Баймакском и Бурибайском рудных районах обширные лавовые плато.

Эффузивные кислые породы занимают заметное место в геологическом строении баймакского колчеданоносного комплекса. Обращает внимание постоянное присутствие кислых пород эффузивной и экструзивно-субвулканической фаций, а также комагматичных им плагиогранитов на рудных

полях колчеданных месторождений этого района [Бородаевская и др., 1970; Колчеданные месторождения..., 1973; Костина, 1973; Серавкин, 1986, 2007; Косарев и др., 2005, 2014]. М.Б. Бородаевская с соавторами [1970] считали, что кислые породы баймак-бурибаевской формации являются дифференциатами базальтовых магм. Т.И. Фролова [1970], Р.И. Костина [1973] пришли к выводу, что основные объемы кислых пород, включающие эффузивные и субвулканические породы, являются палингенными выплавками. Лишь небольшой объем субвулканических ферродацитов и гранофиров ранней фазы отнесен к продуктам дифференциации базальтовых расплавов. Среди эффузивных дацитов и риодацитов выделяются следующие типы: 1) дациты и риодациты «полустекловатые» мелкопорфировые плагиоклазовые и роговообманково-плагиоклазовые; 2) дациты и риодациты мелкопорфировые и среднепорфировые кварцсодержащие плагиоклазовые; 3) риодациты среднепорфировые и крупнопорфировые кварц-роговообманково-плагиоклазовые и кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовые.

Для первых двух типов эффузивов характерны метасферолитовая, фельзитовая, микролито-микропойкилитовая микроструктуры. Кремнекислые породы третьего типа слагают эффузивные лавовые потоки, а также экструзивно-субвулканические тела. В них обычны метасферолитовая, фельзито-микролито-микрозернистая и микропризматическизернистая микроструктуры.

Из вторичных минералов присутствуют хлорит, серицит, кварц, альбит, эпидот, сфен, лейкоксен, карбонат, пирит. В зонах динамометаморфизма появляются чешуйки мусковита.

Пирокластические породы кислого состава распространены незначительно. Они известны среди эффузивов и тефроидов кислого состава в разрезах гор Таш-тау и Вараш и представлены псаммитовыми и гравийно-лапиллиевыми туфами, нередко имеющими окраску красных тонов, возможно, связанную с краснокаменными изменениями в мелководных условиях.

Тефроиды находятся в виде прослоев среди туфов кислого состава. Для них характерно однообразие обломков, представленных хлоритизированным кислым стеклом с фельзито-микрозернистой структурой основной массы, и присутствие редких осколков плагиоклаза и кварца. На Майском рудном поле тефроиды перекрываются яшмоидами, содержащими обильные радиолярии и редкие конодонты.

Интрузивные, субвулканические и экструзивные образования детально изучались ранее [Серавкин, 1981, 1986; Колчеданные месторождения..., 1973]. Было показано, что поверхностные вулканические, экструзивные, субвулканические и интрузивные образования района имеют общие черты химизма, являются комагматами и образуют баймакский вулкано-плутонический комплекс. Входящие в его состав рвущие тела интрузивного и субвулканического облика подразделяется на 3 группы: 1 — ранних субвулканических и экструзивных тел; 2 — поздних экструзивно-субвулканических тел; 3 — интрузий гиповулканической фации глубинности.

Группу *ранних субвулканических и экструзивных тел* представляют силлы, штоки, дайки и экструзивные купола, формировавшиеся на небольших глубинах или выходившие на поверхность (экструзии). В пределах Куянтауской антиклинали, самой западной в Баймакском рудном районе, в группу ранних субвулканических тел включены также дайки баймак-бурибаевской формации района горы Куянтау, охарактеризованные Р.И. Костиной [1973]. Предполагается, что это ранняя фаза субвулканических пород, которая в обнаженной части разреза верхнетаналыкского комплекса в Баймакском районе отсутствует. На Абей-саз – Бакр-тауском рудном поле к ранней группе принадлежат силлы и экструзивные купола кварцевых риодацитов.

Экструзивные и субвулканические дациты и риодациты ранней группы Бакр-Тауского участка представлены средне- и крупнопорфировыми структурными типами, содержащими фенокристы кварца, плагиоклаза и роговой обманки. Дациты отличаются от риодацитов повышенными содержаниями вкрапленников роговой обманки и обогащенной хлоритом основной массой.

Группу *поздних экструзивно-субвулканических тел* представляют роговообманково-кварц-плагиоклазовые дациты и риодациты крупнопорфировые и мегафировые. Фенокристаллы плагиоклаза, кварца, роговой обманки содержатся в переменных количествах. Характерной особенностью субвулканических пород поздней группы являются пегматоидные и гранофировые гомеогенные выделения, которые детально были описаны Л.Н. Сопко [Колчеданные месторождения..., 1973].

Группу *интрузий гиповулканической фации глубинности* составляют плагиогранодиориты и плагиограниты, образующие серию интрузивных тел [Колчеданные месторождения..., 1973]. Наряду

с плагиогранитами и гранодиоритами в этой группе присутствуют кварцевые диориты и диориты. Широкое распространение в субвулканических породах гомеогенных включений соответствующих составов свидетельствует о генетической связи поздних тел кварцевых порфиров и плагиогранитов.

Химизм клинопироксенов из экструзивно-субвулканических дацитов участка «Звездного»

Клинопироксены из вулканитов баймакского комплекса определены в двух пробах (6 определений), представленных базальтами и андезибазальтами. Их состав варьирует от эндиопсидов ($Ca_{44.72}Mg_{49.34}Fe_{5.94}$) до низкожелезистых авгитов ($Ca_{42.7}Mg_{46.5}Fe_{10.76}$) и вполне сопоставим с некоторыми пробами пироксенпорфировых базальтов третьей риолит-базальтовой толщи нижней подсвиты баймак-бурибаевской свиты. Характер распределения и концентрации петрогенных и малых элементов позволяют отнести вулканиты баймакского базальт-андезит-дацит-риолитового комплекса к магнезиальной известково-щелочной петрогенетической серии [Косарев и др., 2005; Сазонова и др., 2001].

На участке «Звездном» в крупнопорфировых кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазовых дацитах экструзивно-субвулканической фации (скв. 4186, интервал 414.5–424 м, проба 4186/421) С.Ю. Чаженгиной проведено микрозондовое изучение пироксенов (рис. 3). Кроме пироксена по микрозондовым материалам в кислых породах установлены апатит, амфибол, хлорит, альбит, кварц, сфен, ильменит, титаномагнетит, эпидот.

Пироксен, сохранившийся в кислых породах раннедевонско-эйфельских вулканических комплексов,— явление уникальное. В пробе 4186/421 пироксен представлен реликтами фенокристов, иногда состоящих из нескольких кристаллов общими размерами 0.1–2 мм. Фенокристы пироксенов частично замещены хлоритом, иногда образующим вокруг каждого зерна хлоритовую «рубашку». На участках, где присутствуют пироксены, нередко появляются игольчатые агрегаты актинолита. Среди кислой микрозернистой основной массы

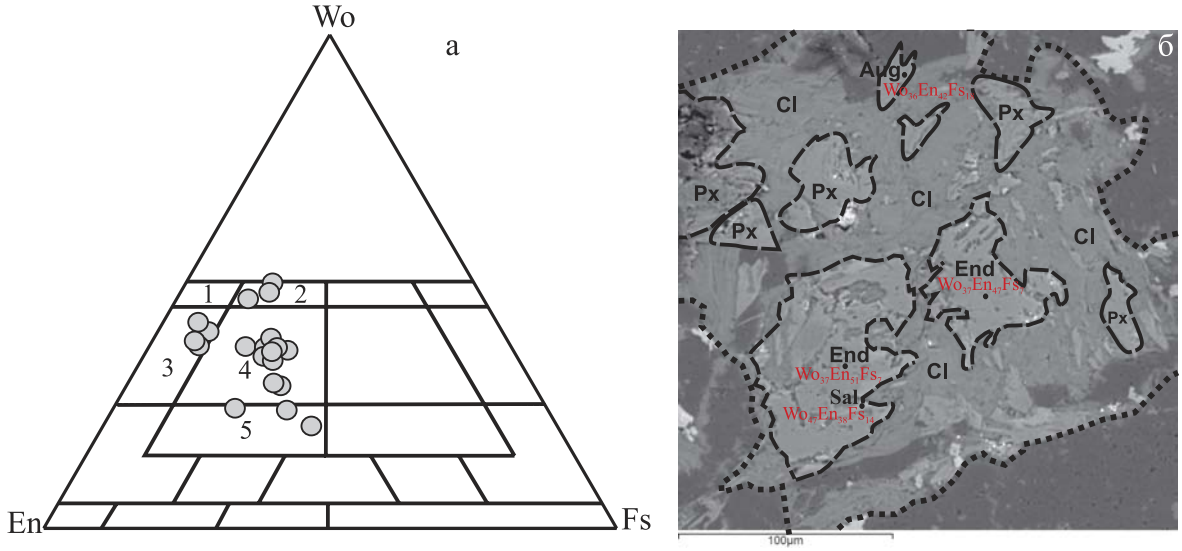


Рис. 3. Соотношения Mg, Ca и Fe на классификационной диаграмме *En–Wo–Fs* в пироксенах вулканитов баймакского колчеданоносного комплекса (обр. 4186/421 — субвулканический дацит) (а) и электронно-микроскопическое изображение пироксена (участок № 8) (б)

а — поля составов пироксенов, по [Дир и др., 1965]: 1 — диопсид, 2 — салит, 3 — эндиопсид, 4 — авгит, 5 — субкальциевый авгит; **б** — пунктирной линией показаны границы сохранившихся фрагментов кристалла пироксена, между которыми расположена замещенная хлоритом часть фенокриста пироксена. Точечной линией показаны границы первичного кристалла пироксена. **Сокращения:** *Px* — пироксен, *Cl* — хлорит, *Aug* — авгит, *End* — эндиопсид, *Sal* — салит.

Fig. 3. Relationships of Mg, Ca and Fe plotted on ternary diagram *En–Wo–Fs* in the pyroxenes of the volcanic rocks of Baimak complex (sample 4186/421 — subvolcanic dacite) (a) and electronic and microscopic image of pyroxene (site No. 8) (б)

a — the field of composition of the pyroxene by [Dir et al., 1965]: 1 — diopside, 2 — salite, 3 — endiopside, 4 — augite, 5 — subcalcic augite; **б** — the dashed line shows borders of remnant fragments of a crystal of pyroxene between which a part of pyroxene phenokryst replaced by chlorite is located. The dot line shows borders of a primary crystal of pyroxene. **Abbreviations:** *Px* — pyroxene, *Cl* — chlorite, *Aug* — augite, *End* — endiopside, *Sal* — salite.

присутствуют мелкие (до 1 мм) деформированные хлоритовые псевдоморфозы с единичными иголочками актинолита, вероятно, представляющие собой псевдоморфозы хлорита и актинолита по пироксену. В зонах рассланцевания и динамометаморфизма фенокристы пироксена часто разбиты на несколько зерен с дезинтеграцией фенокристалла, но без значительных перемещений. Интенсивная хлоритизация фенокристов пироксена в сочетании с перемещениями дезинтегрированных фрагментов друг относительно друга затрудняет изучение их химической зональности.

По результатам микрозондового изучения в пробе дацитового порфирита кварц-пироксен-роговообманково-плагиоклазового с титаномагнетитом установлены клинопироксены следующих составов: салит, эндиопсид, авгит, субкальциевый авгит (рис. 3 а). Вариации составов клинопироксенов имеют следующие интервалы: эндиопсид ($Wo_{37.1–37.7}En_{42.16–51.5}Fs_{6.35–7.35}$); салит ($Wo_{47.53–49.9}En_{34.35–38.57}Fs_{13.9–15.77}$); авгит ($Wo_{25.87–36.93}En_{39.16–45.14}Fs_{17.93–23.62}$); субкальциевый авгит ($Wo_{18.9–22.9}En_{38–50.59}Fs_{19.65–28.29}$).

Петрографические наблюдения и известные по публикациям минеральные ассоциации кислых пород не позволяют считать, что все разновидности клинопироксенов являются продуктами кристаллизации из единой порции кислой магмы. Минералы, кристаллизовавшиеся из кислого расплава, представлены апатитом, плагиоклазом, титаномагнетитом, роговой обманкой, кварцем. Между перечисленными минералами в шлифах видны взаимоотношения, по которым можно судить о порядке выделения их из расплава. Взаимоотношений перечисленных минералов с клинопироксенами нет. Неясна и последовательность кристаллизации клинопироксенов друг относительно друга. Ассоциация клинопироксенов, близкая к установленной в изученном даците (проба 4186/421), известна в вулканитах бонинитовой серии Бурибайского рудного района [Сазонова и др., 2001; Косарев и др., 2003, 2005]. Кайнотипные и современные кислые породы, известные в пределах активных островных дуг, нередко содержат ортопироксены и клинопироксены. Однако последние в большинстве своем представлены разновидностями от авгита до ферроавгита [Магматические..., 1987]. Клинопироксены, варьирующие по составу от эндиопсидов и салитов до авгитов, изначально генетически связаны с магмами основного состава, а в кислые породы попадают, скорее всего, в результате смешения частично раскристаллизованных магм кислого и основного составов или загрязнения кислых расплавов гиповулканическими габброидами, синхронными или предшествующими по времени формирования кислым вулканическим породам [Богатиков, Цветков, 1988]. Образование субкальциевых авгитов в закаленных эффузивах базальтового состава провинции Карру связывается Уокером и Полдерваартом [Дир и др., 1965] с быстрым охлаждением расплава.

На рис. 3б (участок микрозондового изучения № 8) по одному из фенокристов пироксена сделана попытка реконструировать его химическую зональность. На фотографии видно, что первичное зерно пироксена в значительной мере замещено хлоритом (примерно на 60%). Реликты пироксена имеют неправильную извилистую, в целом изометричную форму. Четыре зерна реликтового пироксена, тяготеющие к центральной части частично замещенного хлоритом фенокриста пироксена, имеют состав: эндиопсид (3 зерна), салит (1 зерно) и одно зерно (№ 4, на рис. 3б) имеет состав авгита. По этим данным можно говорить о реликтовой зональности, характеризующейся размещением в центре кристаллов пироксенов эндиопсид-салитового состава, а на периферии — пироксенов авгитового состава. Подобная зональность кристаллов клинопироксена возникает при их кристаллизации в условиях понижающейся температуры [Smith, Lindsley, 1971; Сазонова, Носова, 1999; Сазонова и др., 2001] в магмах основного состава.

Особенности распределения петрогенных оксидов и микроэлементов в вулканических породах баймакского комплекса

Вулканогенные толщи баймакского колчеданоносного комплекса характеризуются гомодромным характером эволюции составов вулканитов, а *базальты* принадлежат известково-щелочной магнезиальной (рис. 4 а–д) и, в меньших объемах, проблематичной толеитовой островодужной магнезиальной серии (рис. 4 б–г). В Баймакском районе в поле толеитовой серии попадают хлоритизированные базальты и более кислые породы с повышенными концентрациями MgO и FeO_t, в сочетании с высокими п.п.п., достигающими 8.23%, и низкими (<1%) концентрациями Na_2O и K_2O, свидетельствующими о разложении плагиоклазов и влиянии околорудного метасоматоза. Толеитовая магнезиальная островодужная серия присутствует южнее Баймакского района на северном фланге Макан-Октябрьского рудного поля, где вулканиты базальтового состава залегают во второй

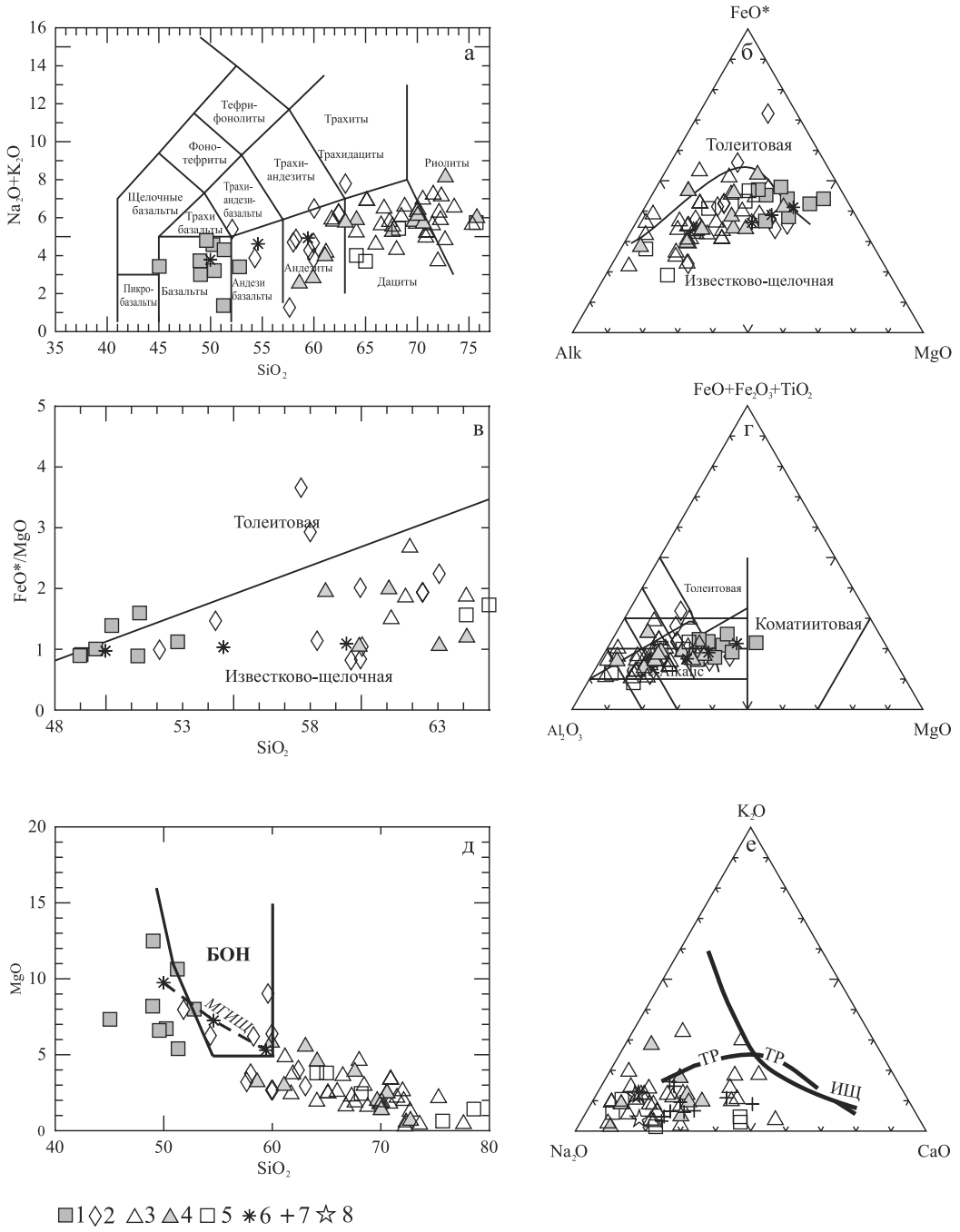


Рис. 4. Петрохимические особенности вулканитов баймакского комплекса

Условные обозначения: 1–3 — эффузивные породы: 1 — базальты, 2 — андезибазальты и андезиты, 3 — дациты, риодациты; 4 — субвулканические дациты и риодациты; 5 — интрузивные гранодиориты и плагиограниты [Косарев и др., 2005, 2014; Колчеданные месторождения..., 1973]; 6 — составы вулканитов магнезиальной известково-щелочной серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987]; 7, 8 — на рис. 4е: 7 — трондьемиты комплекса Литл-Порт; 8 — трондьемиты комплекса Бей оф-Айлендс [Малпас, 1983]. **Сокращения:** БОН — бонинитовая серия, МГИЩ — магнезиальная известково-щелочная серия, ТР — трондьемитовый тренд на диаграмме $Na_2O–K_2O–CaO$, ИЩ — известково-щелочная серия и тренд на диаграмме $Na_2O–K_2O–CaO$.

Fig. 4. Petrochemical features of volcanics of the Baimak complex

Legend: 1–3 — effusive rocks: 1 — basalts, 2 — andesibasalts and andesites, 3 — dacites, rhyodacites; 4 — subvolcanic dacites and rhyodacites; 5 — intrusive granodiorites and plagiogranites [Kosarev et al., 2005, 2014, Kolchedannye..., 1973]; 6 — compositions of volcanics of a magnesian calc-alkaline series of Kamchatka [Petrologiya..., 1987]; 7, 8 — in fig. 3e: 7 — Trondhjemites of the Little-Port complex; 8 — Trondhjemites of a complex Bay of Islands [Malpas, 1983]. **Abbreviations:** БОН — boninitic series, МГИЩ — magnesian calc-alkaline series, ТР — trondhjemite trend on the chart $Na_2O–K_2O–CaO$, ИЩ — calc-alkaline series and a trend on the chart $Na_2O–K_2O–CaO$.

толще (андезит-андезибазальтовой) рудовмещающего макан-октябрьского вулканического комплекса, вне метасоматического околорудного ореола [Косарев и др., 2005]. Вулканиты известково-щелочной магнезиальной серии близки к одноименной серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987] (рис. 4 д), совпадая и с низкомагнезиальной частью поля бонинитовой серии. Однако высокомагнезиальные вулканиты с концентрациями MgO >13% в составе баймакского комплекса отсутствуют. Некоторые разновидности высокомагнезиальных базитов относятся к типу пикробазальтов, обогащенных пироксеном и, видимо, оливином, связанных с процессами кристаллизационной дифференциации.

Базальты баймакского комплекса, по сравнению с базальтами известково-щелочной магнезиальной серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987], имеют пониженные концентрации Cr 200–236 г/т; Zr 13–57; Nb 0.9–1.36; Ba 87–289; Hf 1.03–1.55 г/т, повышенные Ni 35–55 г/т, близкие Co 38–49 г/т. Отношение La/Yb в базальтах баймакского комплекса повышено, составляя 3.8–9.48 (таблица).

На спайдердиаграммах редких элементов базальтов баймакского комплекса (рис. 5 а) четко видны негативные аномалии Nb и положительные Sr различной интенсивности, обогащение пород элементами КИР и радиоактивными элементами. Пониженные концентрации РЗЭ, Zr, Y, Ti, P имеют базальты, обогащенные MgO (7.33–12.49%), содержания Cr 200–236 г/т; Ni 35–55; Co 38–49 г/т, что близко к базальтам магнезиальной известково-щелочной (МГИЩ) серии Камчатки [Петрология и геохимия..., 1987], но существенно ниже основных пород бонинитовой серии. Вероятно, ближе всего к магнезиальным базальтам баймакского комплекса располагаются пикробазальты офиолитового комплекса дуги Тонга [Высоцкий, Злобин, 1987 в книге Петрология и геохимия..., 1987], где Cr 370 г/т, Ni 220 г/т, Co 53 г/т. Наиболее очевидны отличия в повышенных концентрациях Ni на Камчатке и в дуге Тонга.

Средние породы представлены андезибазальтами и андезитами при преобладании в аналитических материалах последних. Содержания Cr, Co, Ni в средних породах понижены по сравнению с базальтами. В пробе 3632/237 при SiO_2 58.27% содержание MgO составляет 6.05%, Cr — 137 г/т, Co — 34 г/т, Ni — 25 г/т. В андезитах баймакского комплекса концентрации MgO варьируют от 2.4 до 8.87%. По сравнению с андезитами МГИЩ серии Камчатки в андезитах Баймакского района количества MgO и Co повышены, понижены концентрации Ni 25 г/т, Cr 137 г/т, Sr 314 г/т, Ba 480 г/т, Rb 14 г/т, близки и повышены количества Zr (52–65 г/т), понижены — Nb (1.25–1.5 г/т). Отношение La/Yb в андезитах баймакского комплекса составляет 4.3–6.1, содержания Th — 0.3–0.74 г/т, U — 0.09–0.36 г/т.

На спайдердиаграммах (рис. 5 а, б) андезиты располагаются выше магнезиальных базальтов, но ассоциируются с базальтами, имеющими повышенную глиноземистость. На графике порода / NMORB хорошо выражена отрицательная геохимическая аномалия Nb, слабо выражена положительная аномалия Sr, хорошо — Ba. В целом графики нормированных значений редких и редкоземельных элементов в средних породах согласуются со спектрами распределения этих элементов в базальтах, особенно в умеренномагнезиальных и их разновидностях.

Кислые породы Баймакского рудного района. По петрохимическим характеристикам кислые породы баймакского колчеданоносного комплекса варьируют от дацитов до риодацитов в эффузивных и в экструзивно-субвулканических породах и от гранодиоритов до плагиогранитов в гиповулканических интрузивных породах.

Как следует из таблицы и диаграмм (рис. 4), для кислых эффузивных и субвулканических пород Баймакского района характерны: 1 — незначительное количество вулканитов риолитового состава с концентрациями SiO_2 >73% и преобладание среди эффузивных и субвулканических пород дацитов и риодацитов (таблица) [Колчеданные месторождения..., 1973]; интрузивные породы представлены плагиогранодиоритами и плагиогранитами с содержаниями SiO_2 от 65–68.2% до 75.7% — в плагиогранитах Богачевского массива, соответственно; 2 — низкие и умеренные концентрации Al_2O_3, составляющие 11.79–15.21%; 3 — умеренные и повышенные количества MgO, варьирующие в интервале от 0.63 до 4.6%; 4 — повышенные концентрации ∑FeO' в части субвулканических и интрузивных пород, достигающие 6.04–7.3%; 5 — повышенные концентрации Na_2O 2.5–5.6% и низкие — K_2O 0.08–1.63%, изредка достигающие 3.15%.

Анализ петрохимических и геохимических материалов проводился с помощью серии диаграмм петрогенных оксидов и микроэлементов (рис. 4, 6), а также спайдердиаграмм, в которых использованы нормированные по NMORB и хондриту концентрации микроэлементов (рис. 5).

Таблица

Содержание петрогенных окислов (масс. %) и редких элементов (г/т) в вулканитах Баймакского рудного района

Table

The content of major (wt %) and rare (ppm) elements in the rocks of the Baimak ore area

№ обр.	3632/547.5	4003/58	3632/561	4002/303	4003/237	4002/96	4002/561	3632/237	4002/19
группа	**Базальты**						**Андезиты**		
SiO_2	45.04	48.98	49.03	49.6	51.25	52.81	58.0	58.27	59.97
TiO_2	0.29	0.49	0.39	0.43	0.47	0.37	0.52	0.32	0.4
Al_2O_3	12.61	16.36	13.9	17.0	16.68	14.53	16.2	15.23	13.28
Fe_2O_3	–	0.98	–	1.8	10.5	1.4	4.6	–	1.25
FeO	9.9	6.46	11.4	5.0	–	7.72	6.4	6.89	4.09
MnO	0.19	0.21	0.16	0.2	0.375	0.16	0.14	0.09	0.25
MgO	7.33	8.2	12.49	6.6	10.63	8.0	3.6	6.05	6.22
CaO	9.8	5.74	3.21	6.7	1.32	3.08	3.0	4.11	6.27
Na_2O	2.26	2.65	2.1	4.3	0.7	2.81	4.5	3.36	2.68
K_2O	1.17	1.08	0.9	0.5	0.67	0.6	0.2	1.52	1.17
P_2O_5	0.04	–	0.05	–	0.09	–	–	0.12	–
ппп	10.2	8.23	5	7.7	7.2	6.92	3.3	3.2	6.83
Сумма	99.95	99.41	99.94	99.83	99.89	98.4	100.46	99.93	99.74
Cr	200	–	236	–	–	–	–	137	–
Co	38	–	49	–	–	–	–	34	–
Ni	35	–	55	–	–	–	–	25	–
Cu	135	–	61	–	–	–	–	42	–
Zn	107	–	100	–	–	–	–	70	–
Pb		–	–	–	–	–	–	–	–
Rb	19	9.8	13	5.1	9.3	5.1	4.7	14	10.2
Sr	73	131	376	140	57	93	140	314	227
Zr	14	33	13	52	44	57	65	62	52
Sc	41	–	29	–	–	–	–	20	–
Y	4	8.2	4	11.4	7.6	11.0	12.7	0	10.7
Nb	–	1.07	–	1.32	0.93	1.36	1.50	–	1.25
Ba	145	118	289	116	87	132	91	480	287
V	348	–	347	–	–	–	–	198	–
La	2.13	3.5	2.12	9.2	2.4	5.2	5.3	3.59	6.1
Ce	5.1	7.5	4.6	18.4	5.0	10.9	11.3	7.87	12.2
Pr	0.68	1.10	0.64	2.6	0.73	1.58	1.71	1.24	1.71
Nd	3.01	4.7	2.93	10.5	3.0	6.0	7.2	5.32	7.0
Sm	0.88	1.16	0.79	2.5	0.81	1.66	2.0	1.48	1.73
Eu	0.34	0.43	0.3	0.79	0.23	0.46	0.55	0.39	0.53
Gd	0.99	1.31	0.99	2.6	0.87	1.90	2.0	1.65	2.0
Tb	0.15	0.24	0.13	0.35	0.16	0.32	0.35	0.26	0.32
Dy	0.98	1.46	0.88	2.0	1.08	1.74	2.1	1.58	1.81
Ho	0.2	0.32	0.19	0.42	0.27	0.39	0.45	0.32	0.39
Er	0.61	0.86	0.61	1.10	0.81	1.10	1.23	0.87	1.10
Tm	0.09	0.14	0.08	0.16	0.13	0.16	0.19	0.13	0.16
Yb	0.53	0.9	0.58	0.97	0.86	0.99	1.18	0.83	1.00
Lu	0.09	0.13	0.1	0.14	0.13	0.15	0.18	0.14	0.15
Th	–	0.48	0.45	1.13	0.75	0.98	0.71	0.33	0.74
U	–	0.24	0.27	0.36	0.42	0.51	0.27	0.09	0.36
Hf	–	1.03	–	1.55	1.29	1.69	1.76	–	1.49
Ta	–	0.089	–	0.078	0.053	0.086	0.10	–	0.083

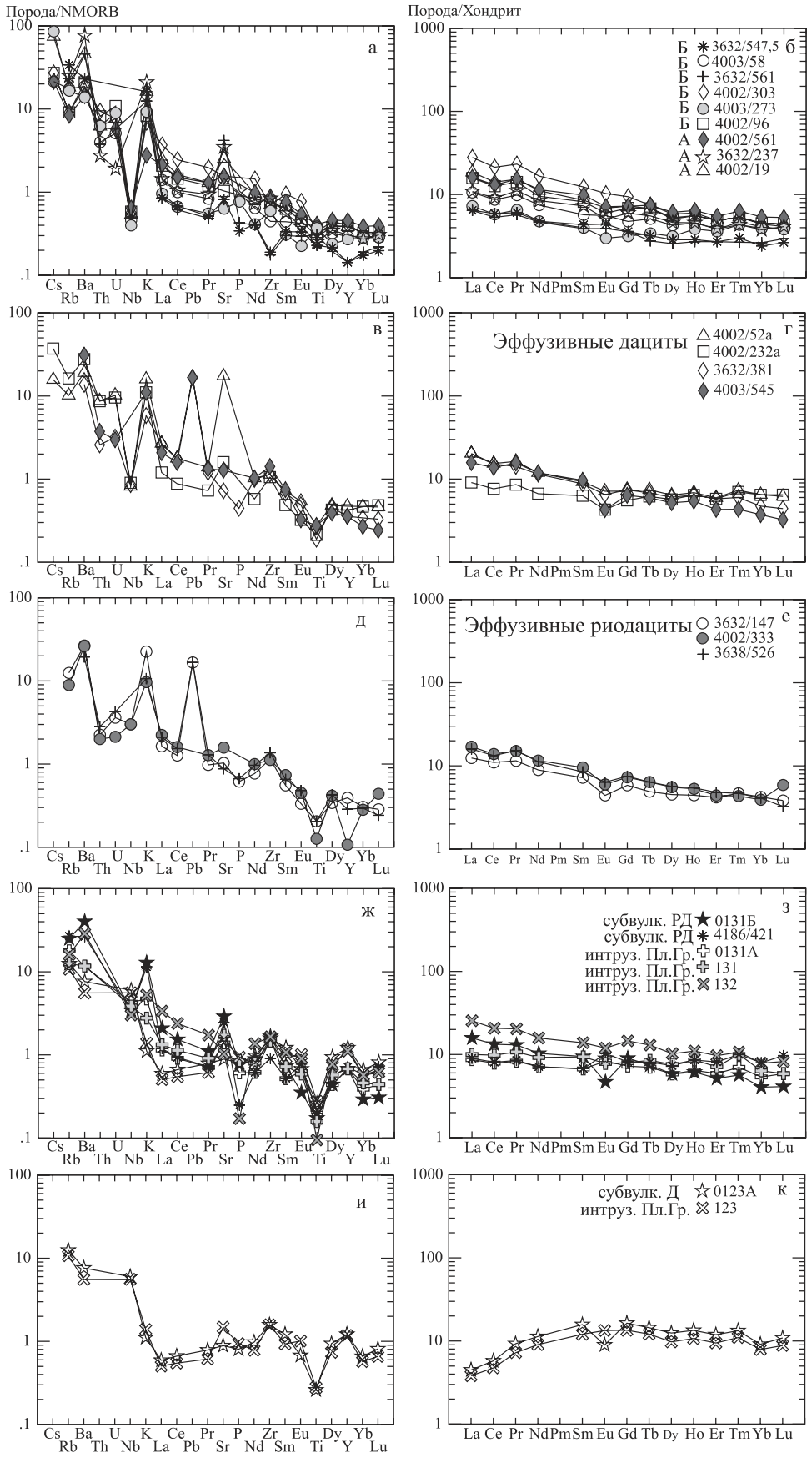
Таблица. Продолжение
Table. Continuation

№ обр.	3632/381	4002/262	4003/545	4002/52а	4002/232а	4003/229	4003/700	3632/147	4002/333
группа	**эффузивные дациты**					**эффузивные риодациты**			
SiO_2	64.11	65.98	66.5	66.79	67.31	68	68.46	69.91	70
TiO_2	0.24	0.4	0.35	0.35	0.27	0.35	0.28	0.26	0.16
Al_2O_3	11.79	15.21	14.4	14.42	14.89	13.4	13.53	12.63	14.5
Fe_2O_3	3.96	1.15	0.804	2.63	2.54	1.9	1.66	4.43	1
FeO	–	3.02	3.9	1.76	1.58	3.3	2.8	–	2
MnO	0.098	0.07	0.14	0.1	0.05	0.11	0.07	0.044	0.07
MgO	1.91	2.56	3.6	1.6	2.25	4.6	2.95	1.75	1.8
CaO	6.44	2.69	1.6	4.48	0.91	1.4	0.84	3.24	2.2
Na_2O	4.8	3.55	4.8	5.33	4.97	3.6	5.33	4.05	5.6
K_2O	0.42	1.03	0.8	1.15	0.8	0.7	0.71	1.63	0.7
P_2O_5	0.052	–	–	–	–	–		0.072	–
ппп	6.1	2.71	2.5	1.57	2.46	2.8	2.58	1.9	1.66
Сумма	99.87	98.91	99.09	100.2	98.03	100.16	99.21	99.92	99.69
Cr	138	–	–	–	–	120	74	73	–
Co	16	34	17	13	17	6	10	18	19
Ni	14	37	21	19	28	57	68	16	19
Cu	10	280	5	12	91	11	32	19	431
Zn	39	121	73	48	48	53	45	41	160
Pb	5	5	5	6	5	55	92	5	420
Rb	–	10		5.7	9.1	–	–	7	5
Sr	65	133	115	1566	144	–	–	93	142
Zr	85	67	105	84	78	–	–	85	83
Sc	16	28	19	–	–	–	–	15	8
Y	10	8	10	13.2	11.8	–	–	11	3
Nb	–	–	–	1.9	2.1	–	–		–
Ba	87	194	195	120	175	–	–	168	165
V	31	286	83	–	–	–	–	93	55
La	6.6	–	5.2	6.7	3.0	–	–	4.1	5.6
Ce	13.1	–	11.9	13.3	6.6	–	–	9.51	12
Pr	1.59	–	1.75	1.83	0.96	–	–	1.29	1.69
Nd	7.23	–	7.5	7.5	4.2	–	–	5.62	7.3
Sm	1.78	–	1.96	1.88	1.28	–	–	1.46	1.94
Eu	0.5	–	0.33	0.55	0.33	–	–	0.34	0.46
Gd	2.05	–	1.76	1.98	1.53	–	–	1.61	2.01
Tb	0.32	–	0.28	0.35	0.29	–	–	0.23	0.3
Dy	2.07	–	1.78	2.2	1.95	–	–	1.55	1.9
Ho	0.45	–	0.38	0.48	0.45	–	–	0.31	0.37
Er	1.3	–	0.97	1.34	1.30	–	–	0.94	0.99
Tm	0.18	–	0.13	0.22	0.21	–	–	0.14	0.13
Yb	1.04	–	0.82	1.43	1.42	–	–	0.93	0.86
Lu	0.15	–	0.11	0.21	0.22	–	–	0.13	0.2
Th	0.31	–	0.45	1.05	1.04	–	–	0.27	0.24
U	0.15	–	0.14	0.48	0.45	–	–	0.17	0.1
Hf	–	–	–	2.3	2.2	–	–	–	–
Ta	–	–	–	0.12	0.11	–	–	–	–

Таблица. Окончание
Table. Ending

№ обр.	4003/614	3638/526	4002/730	4186/421	0123А	0131Б	0131А	131	123	132
группа	**эффузивные риодациты**			**субвулканические**			**интрузивные**			
SiO_2	70.83	71.48	72	64.13	67.6	69.67	64.11	65	68.2	75.7
TiO_2	0.28	0.26	0.35	0.25	0.33	0.22	0.28	0.2	0.35	0.12
Al_2O_3	14.03	13.33	12.5	13.13	13.2	13.09	12.96	12	13.1	12.5
Fe_2O_3	0.21	4.34	1.6	6.04	6.27	3.61	6.61	7.3	6.05	2.69
FeO	2.8	–	3.8	–	–	–	–	–	–	–
MnO	0.07	0.075	0.08	0.099	0.113	0.066	0.158	0.2	0.09	0.02
MgO	1.78	2.17	2.6	4.56	3.88	1.96	3.8	3.8	2.45	0.63
CaO	1.26	0.82	2.8	2.67	0.54	2.02	3.23	3.1	1.55	0.47
Na_2O	4.21	4.83	2.5	5.04	5.17	4.85	3.67	3.5	5.33	5.36
K_2O	0.74	0.77	1.2	0.83	0.08	0.93	0.34	0.2	0.1	0.38
P_2O_5		0.078	0	0.029	0.094	0.089	0.071	0.1	0.11	0.02
ппп	1.88	1.8	1.9	2.95	2.54	2.03	3.74	3.9	1.96	0.85
Сумма	98.09	99.95	100.46	99.75	99.84	98.58	99.01	99	99.2	98.8
Cr	44	–	59	89	18	17	43	102	25	15
Co	6	13	15	14	8	1	10	12	8	
Ni	23	16	39	22	1	8	8	14	1	5
Cu	19	12	37	–	–	–	–	–	–	–
Zn	42	63	47	20	33	180	90	85	40	–
Pb	35	5	9	–	–	–	–	–	–	–
Rb	–		–	15	7	14	10	7	6	9
Sr	–	79	–	220	80	261	125	155	133	92
Zr	–	101	–	67	117	123	114	108	117	122
Sc	–	15	–	–	–	–	–	–	–	–
Y	–	8	–	20	34	19	19	19	33	31
Nb	–		–	8	14	8	10	9	13	7
Ba	–	122	–	167	48	254	73	74	35	181
V	–	16	–	111	83	70	97	118	67	7
La	–	5.26	–	2.97	1.48	5.22	2.86	3.3	1.26	8.4
Ce	–	11.5	–	6.98	4.99	11.5	6.8	8.5	4.1	17.9
Pr	–	1.71	–	0.95	1.04	1.46	0.93	1.2	0.81	2.28
Nd	–	7.05	–	4.49	7.14	6.5	4.48	5.8	5.7	9.95
Sm	–	1.72	–	1.37	3.2	1.92	1.36	1.9	2.45	2.81
Eu	–	0.49	–	0.79	0.69	0.36	0.64	0.6	1.03	0.92
Gd	–	2.07	–	2.25	4.52	2.49	2	2.2	3.72	4.02
Tb	–	0.3	–	0.38	0.68	0.35	0.33	0.4	0.57	0.61
Dy	–	1.94	–	2.52	4.28	2	2	2.6	3.35	3.51
Ho	–	0.38	–	0.6	0.94	0.43	0.45	0.6	0.75	0.77
Er	–	1.08	–	1.83	2.68	1.16	1.33	1.6	2.13	2.18
Tm	–	0.14	–	0.3	0.4	0.17	0.21	0.3	0.33	0.32
Yb	–	0.9	–	1.75	2.01	0.89	1.18	1.4	1.74	1.73
Lu	–	0.11	–	0.33	0.37	0.14	0.2	0.2	0.3	0.28
Th	–	0.34	–	–	–	–	–	–	–	–
U	–	0.2	–	–	–	–	–	–	–	–
Hf	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ta	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечание: прочерк — не определялось.
Note: dash — not determined.


Порода/NMORB
Порода/Хондрит
а
б
Б 3632/547,5
Б 4003/58
Б 3632/561
Б 4002/303
Б 4003/273
Б 4002/96
А 4002/561
А 3632/237
А 4002/19
в
г
Эффузивные дациты
4002/52а
4002/232а
3632/381
4003/545
д
е
Эффузивные риодациты
3632/147
4002/333
3638/526
ж
з
субвулк. РД 0131Б
субвулк. РД 4186/421
интруз. Пл.Гр. 0131А
интруз. Пл.Гр. 131
интруз. Пл.Гр. 132
и
к
субвулк. Д 0123А
интруз. Пл.Гр. 123
Cs Ba U K Ce Pr P Zr Eu Dy Yb
Rb Th Nb La Pb Sr Nd Sm Ti Y Lu
La Ce Pr Nd Pm Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu

←

Рис. 5. Распределение микроэлементов, нормированных по N -MORB [Sun, McDonaugh, 1989], и редкоземельных элементов, нормализованных по хондриту [Nakamura, 1974], в вулканитах Баймакского рудного района Магнитогорской мегазоны

а, б — базальты, андезибазальты и андезиты; **в, г** — эффузивные дациты; **д, е** — эффузивные риодациты; **ж–к** — субвулканические дациты и риодациты, интрузивные плагиограниты. **Сокращения:** Б — базальт, А — андезит, РД — риодацит, Д — дацит; Пл. Гр. — интрузивный плагиогранит.

Fig. 5. Distribution of trace elements, normalized by N-MORB [Sun, McDonaugh, 1989], and rare-earth elements normalized by chondrites [Nakamura, 1974], in the volcanic rocks of the Baimak ore district of Magnitogorsk megazone

а, б — basalts, andesibasalts and andesites, **в, г** — effusive dacites, **д, е** — effusive rhyodacites; **ж–к** — subvolcanic dacites and rhyodacites, intrusive plagiogranites. **Abbreviations:** Б — basalt, А — andesite, РД — rhyodacite, Д — dacite; Пл.Гр. — intrusive plagiogranite.

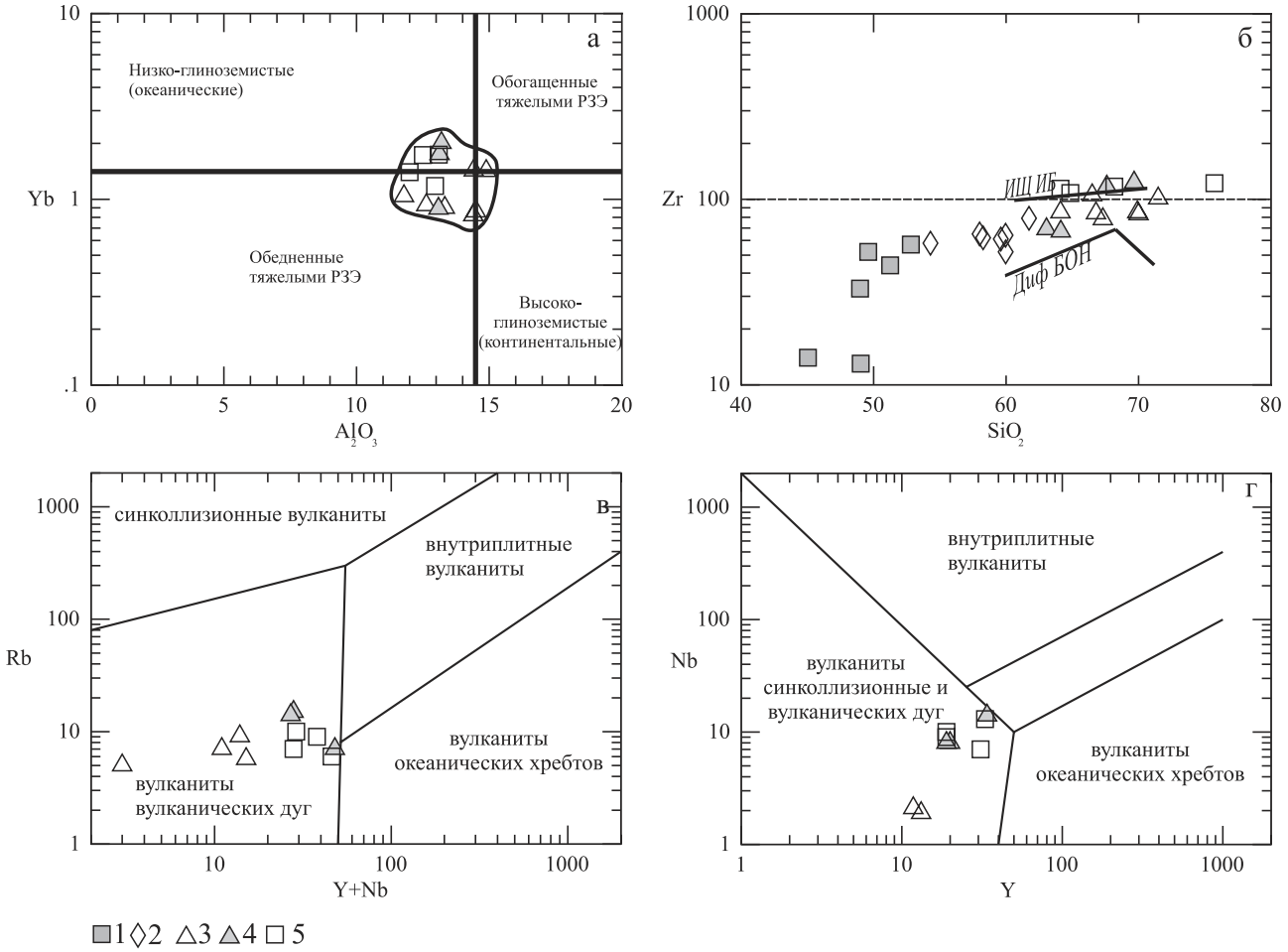


Рис. 6. Геохимические особенности вулканитов баймакского комплекса (а — по [Арт, 1983]; в, г — по [Pearce et al., 1984])

Условные обозначения: 1–3 — эффузивные породы: 1 — базальты, 2 — андезибазальты и андезиты, 3 — дациты, риодациты; 4 — субвулканические дациты и риодациты; 5 — интрузивные гранодиориты и плагиограниты [Косарев и др., 2005, 2014; Колчеданные месторождения..., 1973]. **Сокращения:** Диф БОН — кривая дифференциатов бонинитовой серии, по А.Я. Шараськину [Петрология и геохимия..., 1987], ИЩ ИБ — известково-щелочная серия Идзу-Бонинской островной дуги.

Fig. 6. Geochemical features of volcanics of the Baimak complex (a — after [Art, 1983], в, г — after [Pearce et al., 1984])

Legend: 1–3 — effusive rocks: 1 — basalts, 2 — andesibasalts and andesites, 3 — dacites, rhyodacites; 4 — subvolcanic dacites and rhyodacites; 5 — intrusive granodiorites and plagiogranites [Kosarev et al., 2005, 2014; Kolchedannye..., 1973]. **Abbreviations:** Диф БОН — curve of differentiation of a boninitic series, according to A.Ya. Sharaskin [Petrologiya..., 1987], ИЩ ИБ — calc-alkaline series of Izu-Bonin island arc.

На диаграммах рис. 4а, б (TAS и AFM) видно, что все породы имеют нормальную щелочность в рамках преимущественно известково-щелочной серии. Содержания K_2O (таблица) варьируют от 0.08 до 1.63%, изредка достигая 3.15%, что позволяет относить этот комплекс к низко-среднекалиевым. Редкие очень низкие концентрации K_2O, достигающие 0.08–1.12%, сочетаются с пониженными концентрациями CaO (0.54–0.97%), что, скорее всего, связано генетически с процессом разложения плагиоклаза и выносом из пород калия и кальция.

Исключение составляет группа кремнекислых пород субвулканической фации Куянтауской антиклинали, выделенная Р.И. Костиной [1973]. Эти породы имеют риодацитовый состав. Концентрации петрогенных оксидов в них колеблются в следующих пределах: SiO_2 69.04–70.64%; Al_2O_3 12.75–13.52%; FeO' 5.42–6.96%; MgO 0.56–1.54%; CaO 1.42–2.05%; Na_2O 4.64–6.52%; K_2O 0.18–2.34%. На диаграмме $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ эти породы располагаются в области нормальнощелочных составов, а на диаграмме AFM они попадают в поле толеитовых составов или располагаются на линии, разделяющей толеитовую и известково-щелочную серии, то есть относятся к толеитовой серии Баймакского района.

На диаграмме $MgO-SiO_2$ (рис. 4д, таблица) выясняется, что кислые породы Баймакского района, так же как основные и средние, обладают повышенными содержаниями MgO, достигающими 4.56% в даците, содержащем в порфировых выделениях пироксен, роговую обманку, плагиоклаз и кварц (таблица, проба 4186/421). Поле магнезиальных кислых пород, нисходящее к разновидностям с высокими содержаниями SiO_2 (до 75.73%), сверху ограничивается вариационной кривой кислых пород — дифференциатов бонинитовой серии, по А.Я. Шараськину [Петрология и геохимия..., 1987], а снизу — линией составов кислых пород позднекайнозойской известково-щелочной глиноземистой серии Камчатки, по Г.П. Авдейко и др. [Петрология и геохимия..., 1987]. Таким образом, по составам кислых пород подтверждается правильность отнесения вулканитов баймакского колчеданоносного комплекса к магнезиальной известково-щелочной серии [Косарев и др., 2005]. Аналогичную вышеописанной позицию кислые вулканиты Баймакского района занимают на диаграмме SiO_2-Zr (рис. 6б), где верхняя граница совпадает с известково-щелочной серией Идзу-Бонинской островной дуги, а нижняя — с кислыми дифференциатами бонинитовой серии [Петрология и геохимия..., 1987]. Толеитовая серия кислых вулканитов с низкими содержаниями K_2O, связанная с гранодиорит-плагиогранитными интрузиями, возможно, не является очень ранней, так как обнаруживает связь с телами плагиогранитов, имеющими поздний возраст, завершающими верхнеталыкский цикл вулканизма, и комагматичными поздним экструзивно-субвулканическим кварцевым мегафирам.

По соотношениям количеств Rb с Y и Nb, Nb с Y [Pearce et al., 1984] фигуративные точки проанализированных кислых пород (рис. 6в, г) располагаются в поле составов надсубдукционных вулканических дуг.

По концентрациям Al_2O_3 и Yb (рис. 6а) кислые эффузивные, субвулканические и интрузивные породы Баймакского рудного района занимают промежуточную позицию между низкоглиноземистыми (океаническими) и высокоглиноземистыми (континентальными) трондьемитами [Арт, 1983]. Большая часть фигуративных точек на рассматриваемой диаграмме располагается в зоне низкоглиноземистых, и лишь единичные точки — в зоне высокоглиноземистых кислых пород. По содержаниям Yb, большинство фигуративных точек кислых пород Баймакского района располагается в поле составов, обедненных тяжелыми РЗЭ, меньшая часть точек попадает в область обогащенных Yb составов пород. Границу между полями обогащенных ТРЗЭ и обедненных ими пород Д.Г. Арт [1983] проводит на уровне концентраций Yb 1.5 г/т. Наиболее заметно обогащены Yb интрузивные породы плагиогранитного и гранодиоритового составов, в которых концентрации Yb варьируют от 1.4 до 1.74 г/т.

На спайдердиаграммах (рис. 5) РЗЭ виден нисходящий от легких к тяжелым РЗЭ характер вариационных кривых, свидетельствующий об обогащении пород ЛРЗЭ и обеднении ТРЗЭ. Такой тип вариационных кривых выдержан для эффузивных пород дацитового и риодацитового составов и для большей части экструзивно-субвулканических и интрузивных пород. Исключение составляет дацит субвулканический (проба 0123А, таблица, рис. 5), на графике которого выделяется зона восходящих значений РЗЭ — La, Ce, Pr, Nd, Sm и слабо нисходящих значений — Gd–Yb. Состав пробы выделяется низкими концентрациями CaO (0.54%) и K_2O (0.08%), La (1.48 г/т), повышенными Na_2O (5.17%). Как отмечалось выше, наиболее вероятной причиной аномального состава данной пробы

является интенсивная альбитизация плагиоклазов, сопровождающаяся выносом CaO и K_2O. Не исключено, что при перестройке кристаллической решетки плагиоклазов происходит и частичный вынос ЛРЗЭ. Вторая проба, имеющая сходный характер спайдердиаграммы, представлена плагиогранодиоритом (таблица, проба 131, рис. 5 з) с пониженным содержанием K_2O (0.2%). По распределению РЗЭ она аналогична пробе 0123А (рис. 5), охарактеризованной выше. Не исключено, что и процессы, которые привели к обеднению проб ЛРЗЭ, были аналогичными. Следует отметить, что этот вывод к кислым породам Куянтауской антиклинали отношения не имеет, так как сведений о концентрациях в них РЗЭ нет.

На спайдердиаграммах редких элементов в большинстве случаев проявлены негативные аномалии Ti, Y, P, Nb, к которым нередко присоединяются U и Th, La, Ce, Pr. Во многих случаях (рис. 5 в, д, ж) присутствуют положительные геохимические аномалии K, Sr, Zr, Ba. Следует отметить, что негативные аномалии Nb в субвулканических и интрузивных породах проявлены слабее, что можно объяснить более высокими его концентрациями в этих породах (таблица, рис. 5), чем в эффузивных дацитах и риодацитах. В целом распределение нормированных значений петрогенных и микроэлементов на спайдердиаграммах кремнекислых пород отражает сложный характер возникновения и эволюции всего фациального ряда кремнекислых пород, включающий процессы выплавления материнских магм, флюидную и кристаллизационную дифференциацию, гибридизм и постмагматические метаморфо-метасоматические преобразования. Нельзя исключить, что заметные массы кремнекислых пород экструзивно-субвулканической и интрузивной фаций, имеющих заметное сходство с трондьемитами, могли возникнуть на завершающем этапе вулканического цикла, продуцировавшего баймакский вулканический комплекс, в связи с выплавлением кислых магм из амфиболизированной базальтовой нижней коры.

Обсуждение материалов

В баймакском комплексе установлено уменьшение от основных пород к кислым количеств FeO, MgO, Cr, Ni, Sc, Cu, Zn, возрастание содержаний K_2O, Zr, Ba, La, Sm, ∑РЗЭ, U, Th, F (таблица) при сохранении повышенной магнезиальности во всех типах пород. Анализ имеющихся материалов показывает тесную связь между всеми группами пород по кислотности, подчеркиваемую наличием переходных типов пород и появлением антидромных ритмов на фоне общей гомодромной эволюции. Величины изотопных отношений $^{87}Sr/^{86}Sr$ в базальтах верхнетаналыкского комплекса варьируют от 0.70446 до 0.70463, в кремнекислых породах — от 0.70297 до 0.70452 [Бобохов и др., 1989; Горожанин, 1991; Spadea et al., 2002; Серавкин, Косарев, Горожанин, 2003], отношение $^{143}Nd/^{144}Nd$ в базальтах составляет 0.51245 [Spadea et al., 2002]. Особую группу составляют породы, представленные серицитизированными кислыми породами либо серицит-хлорит-кварцевыми метасоматитами с вкрапленностью сульфидов по кварцевым риолитам и риодацитам [Серавкин, Косарев, Горожанин, 2003]. Значения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в этих породах варьируют от 0.70356 до 0.72814, концентрации Rb — от 1.4 мкг/г до 35.8 мкг/г. Между величинами $^{87}Sr/^{86}Sr$ и концентрациями Rb обнаруживается положительная корреляция, что связывается с контаминацией флюидов изотопом ^{87}Sr, заимствованным из морской воды [Бобохов и др., 1989], присутствовавшей в гидротермальных флюидах.

Приведенные геологические и петролого-геохимические материалы свидетельствуют о генетических связях основных, средних и кислых пород баймакского комплекса Баймакского рудного района, обусловленных процессами, связанными с эволюцией поднимающегося мантийного диапира.

Пространственная обособленность экструзивно-субвулканических пород от эффузивно-пирокласто-тефроидных толщ и особенности химизма, выраженные в повышенных, по сравнению с эффузивами, содержаниях SiO_2, Zr, Y, Ta, Rb, Yb, позволяют интерпретировать это явление двояко. Во-первых, можно предполагать, что субвулканические и интрузивные породы являются продуктами дифференциации основных магм, исходных для баймакского комплекса. Второй вариант предполагает, что большие массы субвулканических и гиповулканических интрузивных пород по происхождению являются выплавками из амфиболизированной нижней коры. Этот генетический тип пород имеет широкое распространение в мире и рассматривается как продукт частичного плавления амфиболизированных основных пород в корнях островных дуг [Трондьемиты..., 1983].

Кроме того, необходимо оценить масштаб и результаты «загрязнения» кислых магм базитовым материалом предшествующего этапа магматизма, проявления которого охарактеризованы

выше (проба 4186/421) материалами по химизму клинопироксенов.

Выводы

1. Баймакский рудный район входит в состав раннедевонской фронтальной островной дуги и приурочен к одноименному блоку с сиалическим уклоном и с колчеданными Au-полиметаллическими месторождениями, близкими к типу Куроко. Баймакский палеовулканический комплекс является полигенной вулкано-плутонической ассоциацией, которая формировалась при главенстве процессов частичного плавления мантии и нижней коры, магматической флюидной и кристаллизационной дифференциации, процессов гибридизма и, возможно, процессов смешения глубинных магматических флюидов с морской водой.

2. Базальты, андезиты и кислые породы баймакского полифациального палеовулканического комплекса в большинстве своем принадлежат магнезиальной известково-щелочной серии.

3. Дайки гранодиорит-порфиров и плагиогранитов, известные в Куянтауской антиклинали и в пределах тел интрузивных плагиогранодиоритов и гранитов Богачевского участка, обладающие повышенными содержаниями оксидов железа и низкими и умеренно-низкими концентрациями K_2O, могут быть ранней и поздней фазами кислого магматизма баймакского комплекса. Подобный вариант хорошо увязывается с наличием в куянтауском блоке в низах разреза баймакского комплекса железистых гранофиров, а в основании южно-ирендыкского комплекса в пределах Кунакайского вулкана (на левобережье реки Таналык, выше около 10 км по течению от пос. Уфимского) — толщи кремнекислых пород толеитовой петрогенетической серии.

4. По соотношениям Rb, Y, Nb, Yb, Ta кислые породы баймакского комплекса располагаются в поле гранитоидов вулканических дуг надсубдукционного типа. По соотношениям Al_2O_3 и Yb кислые породы риодацитового состава занимают позицию между низкоглиноземистыми океаническими и высокоглиноземистыми континентальными трондьемитами и дацитами, соответствующими умеренноглиноземистым трондьемитам, характерным для выплавок из амфиболизированных базитов в корневых зонах островных дуг.

5. Среди кислых пород экструзивно-субвулканической фации присутствуют гибридные разновидности, возникшие при взаимодействии кислой магмы с базитами предшествующего этапа, содержащими пироксены салитового и эндиопсидового составов.

Работа выполнена в рамках госзаказа № 0252-2017-0011 и программы Президиума РАН № 19.

Список литературы:

Арт Дж.Г. Некоторые элементы-примеси в трондъемитах — их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий // Трондъемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред. Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – С. 99–105. – https://doi.org/10.1016/b978-0-444-41765-7.50008-3.

Бобохов А.С., Горожанин В.М., Кузьмин С.А. Стронциево-изотопные данные для кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория Южного Урала: Препр. доклада Президиуму БНЦ УрО АН СССР. – Уфа, 1989. – 24 с.

Богатиков О.А., Цветков А.А. Магматическая эволюция островных дуг. – М.: Наука, 1988. – 248 с.

Бородаевская М.Б., Кривцов А.И., Курбанов Н.К., Ширай Е.П. Некоторые вопросы структурно-формационного районирования палеовулканических колчеданоносных областей // Вопросы палеовулканизма медноколчеданных провинций Южного Урала и Северного Кавказа. – М., 1970. – С. 3–19. – (Труды ЦНИГРИ; Вып. 92).

Вулканизм Южного Урала / *И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, Д.Н. Салихов, С.Е. Знаменский, З.И. Родичева, М.В. Рыкус, В.И. Сначев*. – М.: Наука, 1992. – 197 с.

Горожанин В.М. Роль контаминации в происхождении кислых вулканитов Магнитогорского мегасинклинория // Микроэлементы в магматических, метаморфических и рудных формациях Урала. – Уфа, 1991. – С. 32–39.

Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. – М.: Мир, 1965. – Т. 2: Цепочечные силикаты. – 407 с.

Знаменский С.Е., Косарев А.М. Строение и литолого-фациальные особенности пород актауской свиты // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2003. – С. 109–112.

Колчеданные месторождения Баймакского рудного района / *П.Ф. Сопко, М.И. Исмагилов, И.Б. Серавкин, Л.Н. Сопко*. – М.: Наука, 1973. – 224 с.

Косарев А.М. Силуро-девонский вулканизм Бурибай-Маканского рудного района Южный Урал: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М., 1977. – 30 с.

Косарев А.М., Серавкин И.Б., Спадеа П., Сазонова Л.В., Херрингтон Р., Горожанина Е.Н. Эволюция составов клинопироксенов и особенности химизма вулканитов нижнедевонско-эйфельского формационного ряда на западном крыле Магнитогорского мегасинклинория // Минералогия Урала–2003. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. – Т. 1: Общие вопросы минералогии и кристаллографии. – С. 49–55.

Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. – 2005. – № 4. – С. 22–42.

Косарев А.М., Серавкин И.Б., Холоднов В.В. Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности Магнитогорской колчеданоносной мегазоны на Южном Урале // Литосфера. – 2014. – № 2. – С. 3–25.

Костина Р.И. О возможных кислых дифференциатах базальтовых очагов раннегеосинклинальных контрастных формаций Магнитогорского мегасинклинория // Закономерности размещения полезных ископаемых Южного Урала. – Уфа: БФАН СССР, 1973. – С. 36–39.

Кривцов А.И., Анисимов И.С., Биков М.Ш., Волчков А.Г., Захаров А.А., Чернова И.И., Шепелев В.М. Структурно-формационное районирование юго-восточной части Башкирского Урала // Вопросы палеовулканизма медноколчеданных провинций Южного Урала и Северного Кавказа. – М., 1970. – С. 19–33. – (Труды / ЦНИГРИ; Вып. 92).

Кулешов Ю.В., Зайков В.В. Месторождение Таш-Тау — пример девонских подводных сульфидных построек (Южный Урал). – Миасс: УрО РАН, 2005. – 158 с.

Магматические горные породы. Кислые и средние породы / *Под ред. В.В. Ярмолюка, В.И. Коваленко*. – М.: Наука, 1987. – Т. 4. – 374 с.

Малпас Дж. Две контрастирующие трондьемитовые ассоциации из перемещенных офиолитов в западном Ньюфаундленде: первое сообщение // Трондъемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – С. 339–353. – https://doi.org/10.1016/b978-0-444-41765-7.50020-4.

Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 288 с.

Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования / *Отв. ред. С.Н. Иванов, В.А. Прокин*. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1992. – 308 с.

Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей / *Под ред. О.А. Богатикова*. – М.: Наука, 1987. – 335 с.

Сазонова Л.В., Носова А.А. Зональность клинопироксенов как функция условий остывания магматического расплава (на примере одинитов Урала) // Геохимия. – 1999. – № 12. – С. 1–18.

Сазонова Л.В., Носова А.А., Наркисова В.В., Горожанина Е.Н., Косарев А.М. Особенности зональности клинопироксенов из вулканитов (на примере девонских базальтоидов Магнитогорского прогиба, Южный Урал) // Записки ВМО. – 2001. – № 6. – С. 80–95.

Салихов Д.Н., Серавкин И.Б., Юсупов С.Ш., Косарев А.М., Бурдаков А.Б., Шарафутдинова Л.А., Чернецов Б.С., Волькинштейн М.Я., Губанов Л.И. Геология, минералогия и геохимия Абейсаз-Бакртауского рудного поля. – Уфа: Гилем, 1997. – 162 с.

Серавкин И.Б. Сульфидообразование в субмаринных эффузивно-экструзивных куполах кислого состава (на примере Южного Урала) // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 257, № 6. – С. 1433–1436.

Серавкин И.Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. – М.: Наука, 1986. – 268 с.

Серавкин И.Б. Вулканогенные колчеданные месторождения Южного Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование / ИГиГ УрО РАН. – Екатеринбург, 2007. – С. 638–669.

Серавкин И.Б., Косарев А.М., Горожанин В.М. Изотопные отношения Rb и Sr и радиологический возраст вулканогенных комплексов баймак-бурибаевской (D_1e), ирендыкской (D_1–D_2ef) и карамалыташской (D_2ef) свит // Геологический сборник № 3 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа, 2003. – С. 141–151.

Серавкин И.Б., Цветкова А.А. Строение Магнитогорского мегасинклинория в свете палеовулканологических реконструкций и геофизических данных // Вулканизм и рудообразование Урала. – Уфа: БФАН СССР, 1982. – С. 19–32.

Среднепалеозойский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения. – Уфа: Изд-во БФАН СССР, 1983. – 116 с.

Стратиграфия и корреляция вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала / *В.А. Маслов, В.Л. Черкасов, В.Т. Тищенко, И.А. Смирнова, О.В. Артюшкова, В.В. Павлов*. – Уфа: УфНЦ РАН, 1993. – 216 с.

Трондъемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред. Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – 488 с. – https://doi.org/10.1016/c2009-0-07394-2.

Фролова Т.И. Геосинклинальный вулканизм. Проблемы происхождения и размещения магматических формаций на примере восточного склона Южного Урала: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – М., 1970. – 30 с.

Nakamura N. Determination of REA, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites // Geochim. Cosmohim. Acta. – 1974. – V. 38, No. 5. – P. 757–775. – https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrology. – 1984. – V. 25. – P. 956–983. – https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956.

Smith D., Lindsley D. Stable and metastable augite crystallization trends in a single basalt flow // Amer. Miner. – 1971. – V. 56. – P. 225–233.

Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D. Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc – arc Complex // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. Geophysical Monograph. – 2002. – V. 132. – P. 101–134. – https://doi.org/10.1029/132gm07.

Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in ocean basins: Geol. Soc. Spec. Publ. – London, 1989. – V. 42. – P. 313–345. – https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19.

References:

Art Dzh.G. Nekotorye elementy-primesi v trond'emitakh — ikh znachenie dlya vyyasneniya genezisa magmy i paleotektonicheskikh uslovii [Some Trace Elements in Trondhjemites-Their Implications to Magma Genesis and Paleotectonic Setting] // Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody / Pod red. F. Barkera. M.: Mir, 1983. P. 99–105 (in Russian).

Bobokhov A.S., Gorozhanin V.M., Kuz'min S.A. Strontsievoizotopnye dannye dlya kislykh vulkanitov Magnitogorskogo megasinklinoriya Yuzhnogo Urala [Strontium isotope data for acid volcanic rocks of the Magnitogorsk megasynclinorium of the Southern Urals]. Preprint doklada Prezidiumu BNTs UrO AN SSSR. Ufa, 1989. 24 p. (in Russian).

Bogatikov O.A., Tsvetkov A.A. Magmaticheskaya evolyutsiya ostrovnykh dug [Magmatic evolution of island arcs]. M.: Nauka, 1988. 248 p. (in Russian).

Borodaevskaya M.B., Krivtsov A.I., Kurbanov N.K., Shirai E.P. Nekotorye voprosy strukturno-formacionnogo raionirovaniya paleovulkanicheskikh kolchedanonosnykh oblastei [Some questions of structural and formational zoning of paleovolcanic massive sulfide areas] // Voprosy paleovulkanizma mednokolchedannykh provincii Yuzhnogo Urala i Severnogo Kavkaza. M., 1970. P. 3–19. (Trudy TsNIGRI; Is. 92) (in Russian).

Dir U.A., Khaui R.A., Zusman Dzh. Porodoobrazuyushchie mineraly [Rock-forming minerals]. M.: Mir, 1965. T. 2. Tsepochechnye silikaty. 407 p. (in Russian).

Frolova T.I. Geosinklinal'nyi vulkanizm. Problemy proiskhozhdeniya i razmeshcheniya magmaticheskikh formatsii na primere vostochnogo sklona Yuzhnogo Urala [Geosynclinal volcanism. Problems of origin and placement of magmatic formations at the example of the Eastern slope of the Southern Urals]: Avtoref. dis. ... d-ra of geology. M., 1970. 30 p. (in Russian).

Gorozhanin V.M. Rol' kontaminatsii v proiskhozhdenii kislykh vulkanitov Magnitogorskogo megasinklinoriya [The role of contamination in the origin of acidic volcanic rocks of the Magnitogorsk megasynclinorium] // Mikroelementy v magmaticheskikh, metamorficheskikh i rudnykh formatsiyakh Urala. Ufa, 1991. P. 32–39. (BNTs UrO AN SSSR) (in Russian).

Kolchedannye mestorozkhdeniya Baimakskogo rudnogo raiona [VMS Deposits of the Baimak Ore District] / *P.F. Sopko, M.I. Ismagilov, I.B. Seravkin, L.N. Sopko*. M.: Nauka, 1973. 224 p. (in Russian).

Kosarev A.M. Siluro-devonskii vulkanizm Buribai-Makanskogo rudnogo raiona Yuzhnyi Ural [Silurian-Devonian volcanism of the Buribay-Makan ore district of the Southern Urals]: Avtoref. dis. ... kand. of geology. M., 1977. 30 p. (in Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B., Spadea P., Sazonova L.V., Kherrington R., Gorozhanina E.N. Evolyutsiya sostavov klinopiroksenov i osobennosti khimizma vulkanitov nizhnedevonsko-eifel'skogo formatsionnogo ryada na zapadnom kryle Magnitogorskogo megasinklinoriya [The evolution of the clinopyroxenes and features of the chemistry of the volcanic rocks of the Lower Devonian-Eifelian formational series on the western wing of the Magnitogorsk megasynclinorium] // Mineralogiya Urala–2003. Miass: IMin UrO RAN, 2003. V. 1: Obshchie voprosy mineralogii i kristallografii. P. 49–55 (in Russian).

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. Petrologo-geokhimicheskie osobennosti rannedevonsko-eifel'skikh ostrovoduzhnykh vulkanitov Magnitogorskoi zony v geodinamicheskom kontekste. [Petrological-geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc volcanics of the Magnitogorsk zone in a geodynamic context] // Lithosfera. 2005. No. 4. P. 22–42 (in Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B., Kholodnov V.V. Geodinamicheskie i petrologo-geokhimicheskie aspekty zonal'nosti Magnitogorskoi kolchedanonosnoi megazony na Yuzhnom Urale. [Geodynamic, petrological and geochemical aspects of zoning Magnitogorsk pyrite Megazone in Southern Ural] // Lithosfera. 2014. No. 2. P. 3–25 (in Russian).

Kostina R.I. O vozmozhnykh kislykh differentsiatakh bazal'tovykh ochagov rannegeosinklinal'nykh kontrastnykh formatsii Magnitogorskogo megasinklinoriya [A possible acidic differentiates of basalt magmatic centres of early geosyncline contrasting formations of the Magnitogorsk magasinclinorium] // Zakonomernosti razmeshcheniya poleznykh iskopaemykh Yuzhnogo Urala. Ufa, 1973. P. 36–39 (in Russian).

Krivtsov A.I., Anisimov I.S., Bikov M.Sh., Volchkov A.G., Zakharov A.A., Chernova I.I., Shepelov V.M. Strukturno-formatsionnoe raionirovanie yugo-vostochnoi chasti Bashkirskogo Urala [Structural and formational zoning the South-Eastern part of the Bashkirian Urals] // Voprosy paleovulkanizma mednokolchedannykh provintsii Yuzhnogo Urala i Severnogo Kavkaza. M., 1970. S. 19–33. (Trudy / TSNIGRI; Vyp. 92) (in Russian).

Kuleshov Yu.V., Zaikov V.V. Mestorozhdenie Tash-Tau — primer devonskikh podvodnykh sul'fidnykh postroek (Yuzhnyi Ural) [Tash-Tau deposit — an example of the Devonian submarine sulphide building (South Urals)]. Miass: UrO RAN, 2005. 158 p. (in Russian).

Magmaticheskie gornye porody. Kislye i srednie porody [Magmatic Rocks: Acid and Intermediate Rocks] / *Eds. V.V. Yarmolyuk, V.I. Kovalenko*. M.: Nauka, 1987. T. 4. 374 p. (in Russian).

Malpas Dzh. Dve kontrastiruyushchie trond'emitovye assotsiatsii iz peremeshchennykh ofiolitov v zapadnom N'yufaundlende: pervoe soobshchenie [Two Contrasting Trondhjemite Associations from Transported Ophiolites in Western Newfoundland: Initial Report] // Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody / *Ed. F. Barker*. M.: Mir, 1983. P. 339–353 (in Russian).

Maslov V.A., Artyushkova O.V. Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala. [Stratigraphy and correlation of Devonian sedimentary rocks in the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals] Ufa: DizaynPoligrafServis, 2010. 288 p. (in Russian).

Mednokolchedannye mestorozhdeniya Urala. Usloviya formirovaniya [Copper Massive Sulfide Deposits of the Urals: Geological conditions of accommodation] / *Eds. S.N. Ivanov, V.A. Prokin*. Ekaterinburg: UNTs AN SSSR, 1992. 308 p. (in Russian).

Nakamura N. Determination of REA, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites // Geochim. Cosmohim. Acta. 1974. V. 38, No. 5. P. 757–775. https://doi.org/10.1016/0016-7037(74)90149-5.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Petrology. – 1984. – V. 25. – P. 956–983. – https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956.

Petrologiya i geokhimiya ostrovnykh dug i okrainnykh morei [Petrology and geochemistry of island arcs and marginal seas] / *Ed. O.A. Bogatikov*. M.: Nauka, 1987. 335 p. (in Russian).

Sazonova L.V., Nosova A.A. Zonal'nost' klinopiroksenov kak funktsiya uslovii ostyvaniya magmaticheskogo rasplava (na primere odinitov Urala) [Clinopyroxene zoning as an indicator of the magmatic melt cooling conditions: an example of odinites from the Urals] // Geohimiya. 1999. No. 12. P. 1–18 (in Russian).

Sazonova L.V., Nosova A.A., Narkisova V.V., Gorozhanina E.N., Kosarev A.M. Osobennosti zonal'nosti klinopiroksenov iz vulkanitov (na primere devonskikh bazal'toidov Magnitogorskogo progiba, Yuzhnyi Ural) [Character of clinopyroxene zoning in volcanic rocks (at the example of Devonian basalts from Magnitogorsk depression, the South Urals)] / Zapiski Vserossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva. 2001. No. 6. P. 80–95 (in Russian).

Salikhov D.N., Seravkin I.B., Yusupov S.Sh., Kosarev A.M., Burdakov A.B., Sharafutdinova L.A., Chernetsov B.S., Vol'kinshtein M.Ya., Gubanov L.I. Geologiya, mineralogiya i geohimiya

Abeisaz-Bakrtauskogo rudnogo polya [Geology, mineralogy and geochemistry of the Abeisaz-Bakrtau ore field]. Ufa: Gilem, 1997. 162 p. (in Russian).

Seravkin I.B. Sul'fidoobrazovanie v submarinnykh effuzivno-ekstruzivnykh kupolakh kislogo sostava (na primere Yuzhnogo Urala) [Sulfide formation in the submarine effusive-extrusive domes of acidic composition (by the example of the Southern Urals)] // Dokl. AN SSSR. 1981. V. 257, No. 6. P. 1433–1436 (in Russian).

Seravkin I.B. Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanism and VMS deposits of the Southern Urals]. M.: Nauka, 1986. 268 p. (in Russian).

Seravkin I.B. Vulkanogennye kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanogenic massive sulfide deposits of the Southern Urals] // Geodinamika, magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovanie / IGiG UrO RAN. Ekaterinburg, 2007. P. 638–669 (in Russian).

Seravkin I.B., Kosarev A.M., Gorozhanin V.M. Izotopnye otnosheniya Rb i Sr i radiologicheskii vozrast vulkanogennykh kompleksov baimak-buribaevskoi (D_1e), irendykskoi (D_1–D_2ef) i karamalytashskoi (D_2ef) svit [Isotopic ratios of Rb and Sr and radiological age of the volcanogenic complexes Baimak-Buribay (D_1e), Irendyk (D_1–D_2ef) and Karamalytash (D_2ef) formations] // Geologicheskii sbornik No. 3 / IG UNTS RAN. Ufa, 2003. P. 141–151 (in Russian).

Seravkin I.B., Tsvetkova A.A. Stroenie Magnitogorskogo megasinklinoriya v svete paleovulkanologicheskih rekonstruktsii i geofizicheskikh dannykh [The structure of the Magnitogorsk Megasynclinorium in the light of paleovolcanic reconstructions and geophysical data] // Vulkanizm i rudoobrazovanie Urala. Ufa: BFAN SSSR, 1982. P. 19–32 (in Russian).

Smith D., Lindsley D. Stable and metastable augite crystallization trends in a single basalt flow // Amer. Miner. 1971. V. 56. P. 225–233.

Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D. Arc-continent collision in the Southern Urals: Petrogenetic aspects of the Forearc – arc Complex // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. Geophysical Monograph. 2002. V. 132. P. 101–134. https://doi.org/10.1029/132gm07.

Srednepaleozoyskii vulkanizm Bashkirskogo Zaural'ya i svyaz' s nim kolchedannogo orudeneniya. [Middle Paleozoic volcanism of Bashkir Trans Ural region and related massive sulfide mineralization]. Ufa: Izd. BFAN SSSR, 1983. 116 p. (in Russian).

Stratigrafiya i korrelyatsiya vulkanogennykh kompleksov osnovnykh mednokolchedannykh raionov Yuzhnogo Urala [Stratigraphy and correlation of Middle Paleozoic volcanic complexes of main copper-massive sulfide districts of the South Urals] / *V.A. Maslov, V.A. Cherkasov, V.T. Tishchenko, I.A. Smirnova, O.V. Artyushkova, V.V. Pavlov*. Ufa: UfNTS RAN, 1993. 216 p. (in Russian).

Sun S.-S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in ocean basins: Geol. Soc. Spec. Publ. London, 1989. V. 42. P. 313–345. https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19.

Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody [Trondhjemites, Dacites, and Related Rocks] / *Ed. F. Barker*. M.: Mir, 1983. 488 p. (In Russian).

Vulkanizm Yuzhnogo Urala [Volcanism of Southern Urals] / *I.B. Seravkin, A.M. Kosarev, D.N. Salikkhov, S.E. Znamenskii, Z.I. Rodicheva, M.V. Rykus, V.I. Snachev*. M.: Nauka, 1992. 197 p. (in Russian).

Znamenskii S.E., Kosarev A.M. Stroenie i litologo-fatsial'nye osobennosti porod aktauskoi svity [Structure and litologo-facial feature of the rocks Aktau formation] // Geologicheskii sbornik Vo 3 / IG UNTS RAN. Ufa, 2003. P. 109–112 (in Russian).

Сведения об авторах

Косарев Александр Михайлович, 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: amkosarev@mail.ru

Серавкин Игорь Борисович, д-р 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: seravkin@ufaras.ru

Шафигуллина Гульнара Турдибаевна, 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: shafigullina_g@mail.ru

About the authors:

Kosarev Alexander Michailovich, 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: amkosarev@mail.ru

Seravkin Igor Borisovich, 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: seravkin@ufaras.ru

Shafigullina Gulnara Turdibaevna, 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: shafigullina_g@mail.ru

УДК 553.435+552.11 (470.55/.57) DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-3

ТУБИНСКО-ГАЙСКИЙ ПОЯС: ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ КОЛЧЕДАННОГО ОРУДЕНЕНИЯ В СВЕТЕ НОВЫХ ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПО СОСТАВУ РУДОВМЕЩАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ

© 2018 г. А. М. Косарев, И. Б. Серавкин

Реферат. В статье, по последним данным авторов, охарактеризованы петро-геохимические особенности колчеданоносных палеовулканических комплексов Тубинско-Гайского пояса Магнитогорской мегазоны Южного Урала, в пределах которого в позднеэмсско-раннеэйфельское время формировались следующие комплексы, вмещающие ряд колчеданных месторождений: 1) бурибайский базальт-риолитовый (D_1e_2) (Бурибайское, Юбилейное месторождения), 2) гайский базальт-андезибазальт-андезит-риолитовый (D_1e_2) (Гайское месторождение), 3) макан-октябрьский базальт-андезибазальт-андезит-риолитовый (D_1e_2) (Маканское, Октябрьское месторождения), 4) баймакский базальт-андезибазальт-андезит-риодацитовый (D_1e_2) (серия колчеданно-полиметаллических месторождений) и 5) подольский гибридный базальт-андезибазальт-андезит-риодацитовый (D_2ef_1) (Подольское и другие более мелкие месторождения).

Состав рудовмещающих комплексов закономерно меняется в широтном направлении (с запада на восток), подчиняясь восточному погружению субдукционного слэба, от толеитовой островодужной и бонинитовой к известково-щелочной и субщелочной (шошонитовой) петрогенетическим сериям. Изменение состава вулканогенных комплексов коррелируется с особенностями оруденения (от медноколчеданного к колчеданно-полиметаллическому).

Широтная субдукционная зональность сочетается с зональностью по простиранию пояса: с юга на север гайский комплекс, вмещающий одно суперкрупное месторождение, сменяется бурибайским, макан-октябрьским и подольским комплексами, содержащими крупные Юбилейное, Подольское и ряд средних колчеданных месторождений, и далее — баймакским комплексом с многочисленными мелкими золото-колчеданно-полиметаллическими и барит-полиметаллическими объектами. Уменьшение суммарных запасов руд и металлов (Cu+Zn) и размеров отдельных месторождений коррелируется с изменением размеров рудовмещающих построек — от суперкрупной (диаметром 50 км) Гайской кольцевой структуры к крупным Маканской кальдере и Подольской кольцевой структуре (соответственно, диаметрами около 3 км и 17 км) и к многочисленным мелким (0.5–1.0 км) постройкам Баймакского рудного района.

Уточненные и установленные петролого-геохимические особенности рудовмещающих комплексов в совокупности с ранее полученными данными о геологическом строении Тубинско-Гайского пояса позволили сформулировать критерии колчеданоносности. Продуктивность колчеданного рудообразования возрастает с увеличением в рудоносных комплексах объемов толеитовых островодужных базальтов и, соответственно, с увеличением в них отношения Na_2O/K_2O и уменьшением содержаний TiO_2, Zr, РЗЭ и отношения La/Yb.

Ключевые слова: Тубинско-Гайский пояс, колчеданоносные комплексы, петролого-геохимические особенности, субдукционная зональность, критерии рудоносности

Для цитирования: Косарев А.М., Серавкин И.Б. Тубинско-Гайский пояс: закономерности формирования и размещения колчеданного оруденения в свете новых петролого-геохимических данных по составу рудовмещающих комплексов // Геологический вестник. 2018. № 2. С. 36–57. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-3.

For citation: Kosarev A.M., Seravkin I.B. Tubinsk-Gai belt: regularities in the formation and location of massive sulfide mineralization in the light of new petrological-geochemical data on the composition of ore-bearing complexes // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 36–57. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-3.

TUBINSK-GAI BELT: REGULARITIES IN THE FORMATION AND LOCATION OF MASSIVE SULFIDE MINERALIZATION IN THE LIGHT OF NEW PETROLOGICAL-GEOCHEMICAL DATA ON THE COMPOSITION OF ORE-BEARING COMPLEXES

A. M. Kosarev, I. B. Seravkin

Abstract. According to the latest data of the authors, petro-geochemical features of the pyrite-bearing paleovolcanic complexes of the Tubinsk-Gai belt of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals are characterized. The following complexes were formed in the Late Emsian-Early Eifelian period, containing a number of pyrite deposits: 1) Buribay basalt-rhyolite (D_1e_2) (Buribayskoe, Yubileinoe deposits), 2) Gaisky basalt-andesibasalt-andesite-rhyolite (D_1e_2) (Gaiskoye deposit), 3) Makan-October basalt-andesibasalt-andesite (D_1e_2) (Makanskoye, Oktyabrskoye deposits), 4) Byamak basalt-andesibasalt-andesite-rhyodacite (D_1e_2) (series of pyrite-polymetallic deposits) and 5) Podolsky hybrid basalt-andesibasalt-andesite-rhyodacite (D_2ef_1) (Podolsk and other smaller deposits).

The composition of the ore-bearing complexes varies regularly in the latitudinal direction (from west to east), in accordance with the eastern submersion of the subduction slab, from the island-arc tholeiitic and boninitic to the calc-alkaline and subalkaline (shoshonitic). The change in the composition of volcanic complexes is correlated with the features of mineralization (from copper-pyrite to pyrite-polymetallic).

The latitudinal subduction zonation is combined with the zonation along the belt extension: from the south to the north the Gai complex containing one super-large deposit is changed by the Buribay, Makan-October and Podol complexes, containing large Yubileynoe, Podolsk and a number of medium-sized massive sulfide deposits; further on — by the Baymak complex with numerous small gold-massive sulfide-polymetallic and barite-polymetallic objects. The reduction of the total reserves of ores and metals (Cu+Zn) and the size of individual deposits correlates with the change in the size of ore-bearing structures — from the super-large (50 km in diameter) Gai ring structure to the large Makan caldera and Podol ring structure (respectively, diameters of about 3 km and 17 km) and to numerous small (0.5–1.0 km) buildings of the Baimak ore district.

Refined and established petrological and geochemical features of ore-measuring complexes in combination with previously obtained data on the geological structure of the Tubinsk-Gai belt made it possible to formulate criteria for massive sulfide fertility. The productivity of massive sulfide ore formation increases in the ore-bearing complexes with the increase of volumes of tholeiitic island-arc basalts in the ore-bearing complexes and, correspondingly, with the increase of the Na_2O/K_2O ratio and the decrease in the TiO_2, Zr, REE and La/Yb ratio.

Key words: Tubinsk-Gai belt, massive-sulphide-bearing complexes, petro-geochemical features, subduction zonation, criteria for ore fertility

Введение

Тубинско-Гайский пояс, расположенный в Западно-Магнитогорской зоне Южного Урала, является одной из наиболее продуктивных на колчеданное оруденение и, соответственно, сравнительно хорошо изученных рудоносных зон Урала. Этот пояс вмещает более 30 колчеданных месторождений, сконцентрированных в Баймакском, Бурибай-Маканском, Подольском и Гайском рудных районах, в том числе таких крупных месторождений, как Юбилейное, Подольское и суперкрупное Гайское месторождение (рис. 1).

Установлено, что вулканогенные комплексы и колчеданные руды Тубинско-Гайского пояса формировались в течение эмсско-раннеэйфельского цикла вулканизма (D_1e_2–D_2ef_1).

Многолетние исследования рудоносных формаций и месторождений рассматриваемого пояса, в которых авторы принимали активное участие [Вулканизм..., 1992; Вулканогенная..., 1994 и др.], позволили установить основные закономерности формирования и размещения колчеданного оруденения, в том числе поперечную (широтную) субдукционную и продольную (меридиональную) зональность в размещении рудоносных комплексов и колчеданных руд. Эта зональность, хорошо выраженная в Тубинско-Гайском поясе и очень важная для понимания процессов колчеданообразования, неоднократно рассматривалась авторами,

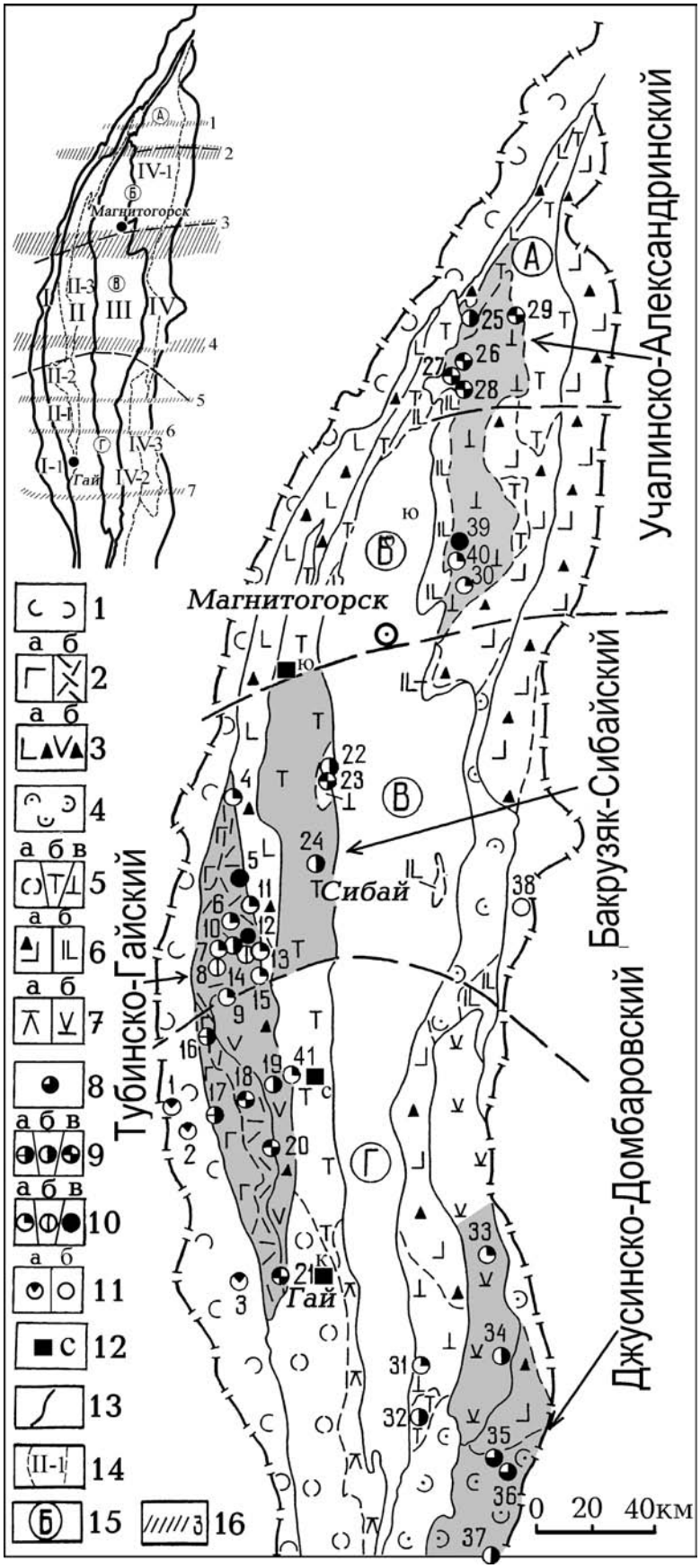


Рис. 1. Размещение колчеданных месторождений в вулканических комплексах Магнитогорской мегазоны [Серавкин, 2007]

Формации: 1 — преобладающая базальтовая (O–S), фрагменты трахибазальт-трахитовой (D_1e) и базальт-риолитовой (D_1e); 2 — базальт-риолитовая (D_1e): контрастный (а) и непрерывный (б) комплексы; 3 — андезито-базальтовая (D_2ef_1): базальт-андезибазальтовый (а) и гибридный базальт-андезит-риолитовый (б) комплексы; 4 — базальтовая (D_1e); 5 — базальт-риолитовая (D_2ef_2): базальтовый (а), контрастный (б) и непрерывный (в) комплексы; 6 — андезито-базальтовая (D_2) — а, базальт-андезито-базальтовая (D_3f) — б; 7 — базальт-андезит-риолитовая: Юсинский (а) (D_2) и субщелочной Джусинский (б) (D_2ef_1) комплексы. **Колчеданные месторождения:** 8 — медноколчеданные (домбаровский тип); 9 — цинково-медноколчеданные, Cu > Zn, Уральский I подтип (а), медно-цинково-колчеданные, Cu < Zn, Уральский II подтип (б) и медно-цинковоколчеданные с полиметаллической минерализацией, Уральский III подтип, (в); 10 — золото-колчеданно-полиметаллические (а), золото-барит-полиметаллические (б) и золото-колчеданные (в) (баймакский тип); 11 — медноколчеданные (ивановский тип) — а, цинковоколчеданные (филизчайский тип) — б; 12 — положение безрудных участков: С — Савельевский, К — Калиновский, Ю — Юлдашевский. **Названия колчеданных месторождений:** 1 — Ивановское, 2 — Дергамышское, 3 — Ишкининское, 4 — Тубинская группа, 5 — Куль-Юрт-тау, 6 — Уваряж, 7 — Бакр-тау, 8 — Горная Байкара, 9 — Майское, 10 — Таш-тау, 11 — Таналык-Баймакское, 12 — Семеновское, 13 — Юлалинское, 14 — Туба-Каин, 15 — Балта-тау, 16 — Юбилейное, 17 — Бурибайское, 18 — Маканская группа, 19 — Подольское, 20 — Мамбетовское, 21 — Гайское, 22 — Бакр-Узяк, 23 — Южный Бакр-Узяк, 24 — Сибайское, 25 — Учалинское, 26 — Озерное, 27 — Узельгинское, 28 — Молодежное, 29 — Таш-Яр, 30 — Александринское, 31 — Иссиргужинское, 32 — Западно-Ащебутакское, 33 — Джусинское, 34 — Барсучий Лог, 35 — Летнее, 36 — Осеннее, 37 — Весеннее, 38 — Амурское, 39 — Сабановское, 40 — Бабарыкинское, 41 — Восточно-Подольское. **Схема районирования:** 13 — границы Магнитогорской мегазоны и структурно-формационных зон 1-го порядка: I — Вознесенско-Присакмарская (зона Главного Уральского разлома), II — Западно-Магнитогорская, III — Центрально-Магнитогорская, IV — Восточно-Магнитогорская; 14 — границы и номера колчеданоносных зон: I-1 — Ивановско-Ишкининская, II-1 — Таналыкская (Тубинско-Гайская), II-2 — Южно-Ирендыкская, II-3 — Сибайско-Орская, IV-1 — Учалинско-Александринская, IV-2 — Ащебутакская, IV-3 — Джусинско-Домбаровская; 15 — поперечные блоки: А — Учалинский, Б — Магнитогорско-Верхнеуральский, В — Баймакско-Кацбахский, Г — Орско-Джусинский; 16 — широтные дислокации: 1 — Буйдинская, 2 — Белорецкая, 3 — Агаповская, 4 — Юлалинская, 5 — Подольская, 6 — Новочеркасская, 7 — Орская. Серым показаны колчеданоносные палеовулканические пояса.

← Fig. 1. Location of massive sulfide deposits in volcanic complexes of the Magnitogorsk megazone [Seravkin, 2007]

Formations: 1 — predominant basaltic (O–S), fragments of trachybasalt-trachytic (D_1e) and basalt-rhyolite (D_1e); 2 — basalt-rhyolite (D_1e): contrast (а) and continuous (б) complexes; 3 — andesite-basalt (D_2ef_1): basalt-andesibasalt (а) and hybrid basalt-andesite-rhyolite (б) complexes; 4 — basaltic (D_1e); 5 — bazalt-rhyolite (D_2ef_2): basaltic (а), contrast (б) and continuous (в) complexes; 6 — andesite-basalt (D_2) — а, basalt-andesite-basalt (D_3f) — б; 7 — basalt-andesite-rhyolite: Dzhusinsky (а) (D_2) and sub-alkaline Dzhusinsky (б) (D_2ef_1) complexes. **Sulfide deposits:** 8 — copper-pyrite (Dombarovka type); 9 — zinc-copper pyrite, Cu > Zn, Ural I subtype (а), copper-zinc pyrite, Cu < Zn, Ural II subtype (б) and copper-zinc pyrite with polymetallic mineralization, Ural III subtype, (в); 10 — gold-pyrite-polymetallic (а), gold-barite-polymetallic (б) and gold-pyrite (в) (Baimak type); 11 — copper pyrite (Ivanovka type) — а, zinc-pyrite (Filizchay type) — б; 12 — position of barren sites: C — Savelievsky, K — Kalinovsky, Ju — Yuldashevsky. **The names of massive sulfide deposits are:** 1 — Ivanovka, 2 — Dergamysh, 3 — Ishkininsky, 4 — Tubinsk group, 5 — Kul-Yurt-tau, 6 — Uvaryazh, 7 — Bakr tau, 8 — Mountain Baikara, 9 — Mayskoe, 10 — Tash-tau, 11 — Tanalyk-Baimak, 12 — Semyonovsk, 13 — Yulalinsk, 14 — Tuba-Kain, 15 — Balta-tau, 16 — Jubileynoe, 17 — Buribay, 18 — Makan group, 19 — Podolsk, 20 — Mambetovsk, 21 — Gai, 22 — Bakr-Uzyak, 23 — South Bakr-Uzyak, 24 — Sibay, 25 — Uchaly, 26 — Ozernoe, 27 — Uzelga, 28 — Molodiozhnoe, 29 — Tash Yar, 30 — Alexandrinsky, 31 — Issirguzhinsky, 32 — West-Aschebutak, 33 — Dzhusa, 34 — Barsuchi Log, 35 — Summer, 36 — Autumn, 37 — Spring, 38 — Amur, 39 — Sabanovo, 40 — Babarykino, 41 — East Podolsk. **Scheme of regional zonation:** 13 — the boundaries of the Magnitogorsk megazone and the structural-formation zones of the 1st order: I — Voznesensk-Prisakmarian (zone of the Main Uralian Fault), II — West-Magnitogorsk, III — Central Magnitogorsk, IV — East Magnitogorsk; 14 — boundaries and numbers of massive sulfide zones: I-1 — Ivanovo-Ishkinino, II-1 — Tanalyk (Tubinsk-Gai), II-2 — South Irendyk, II-3 — Sibay-Orsk, IV-1 — Uchaly-Alexandrinsk, IV-2 — Ashchebutak, IV-3 — Dzhusa-Dombarovsk; 15 — transverse blocks: A — Uchaly, Б — Magnitogorsk-Verkhneuralsk, B — Baimak-Katsbakh, Г — Orsk-Dzhusinsk; 16 — latitudinal dislocations: 1 — Buydinsk, 2 — Beloretsk, 3 — Agapovo, 4 — Julalinsk, 5 — Podolsk, 6 — Novocherkassk, 7 — Orsk. The massive sulfide-bearing paleovolcanic belts are shown in gray

в частности, и в недавних публикациях [Серавкин и др., 2017].

Вместе с тем полученные авторами новые петрохимические и геохимические данные по составу колчеданоносных комплексов позволяют уточнить и углубить выясненные ранее закономерности и, что более важно, сформулировать новые критерии для поисков колчеданных руд.

Колчеданоносные комплексы Тубинско-Гайского пояса

Как видно на рис. 1, северную часть пояса занимает Баймакский палеовулканический комплекс, вмещающий многочисленные месторождения одноименного рудного района. В средней, наиболее широкой части пояса, с запада на восток располагаются бурибайский, макан-октябрьский и подольский комплексы. К южной оконечности пояса приурочено Гайское месторождение, давшее название комплексу вмещающих его пород. Тубинско-Гайский пояс сложен главным образом отложениями баймак-бурибаевской ($D_1e_2^1$*b-br*) и верхнеталалыкской ($D_1e_2^2$*vtn*) свит. Первая из них (нижняя свита) соответствует контрастной базальт-риолитовой, вторая — непрерывно дифференцированной базальт-андезит-риолитовой формациям.

Бурибайский комплекс (D_1e_2) вмещает колчеданные месторождения Уральского-1 типа: Юбилейное и Бурибайское (№№ 16 и 17 на рис. 1). Комплекс слагают 3 толщи баймак-бурибаевской свиты (снизу вверх): 1) долерито-базальтовая, 2) пиллоу-базальт-вариолитовая и 3) базальт-риодацитовая.

Толща долерито-базальтов охарактеризована по данным предыдущих работ. В ее составе преобладают базальты умереннощелочной серии с колебаниями $\sum K_2O+Na_2O$ 5.62–6.56% и широкими вариациями количеств MgO, от низких (MgO — 4.2%) до высоких (MgO 8.4–9.1%), свидетельствующими, скорее всего, о фракционировании оливина [Spadea et al., 2002]. На диаграмме Пирса [Pearce, 1983] Nb/Yb – Th/Yb эта порода попадает в краевую часть поля бонинитов баймак-бурибаевской свиты [Косарев, 2015]. На границе с вышележащей толщей залегает пачка пиллоу-базальтов мощностью 20 м, характеризующаяся повышенными концентрациями TiO_2 (1.54%) и по особенностям химизма близкая к океаническим базальтам поляковской свиты.

Толща пиллоу-базальтов-вариолитов содержит нормально-щелочные и субщелочные магнезиальные базальты, бонинито-базальты, бониниты, магнезиальные андезиты (рис. 2).

Магнезиальные базальты (см. рис. 2) имеют содержания SiO_2 48.4–52.8%, обладают низкой глиноземистостью (Al_2O_3 11.5–13.25%), нормальной щелочностью (Na_2O+K_2O — 3.3–3.55%) и низкой калиевостью, повышенной магнезиальностью (MgO 6–11%) и кальциевостью (CaO 7.5–12%). Они занимают промежуточную позицию на диаграмме MgO – SiO_2 (см. рис. 2б) между бонинитами и оливиновыми базальтами [Spadea et al., 1998]. Среди магнезиальных базальтов присутствуют разновидности с повышенной щелочностью (субщелочные). В одной из проб содержание Na_2O достигает 5.54%, K_2O — 0.04%, MgO — 9.6%.

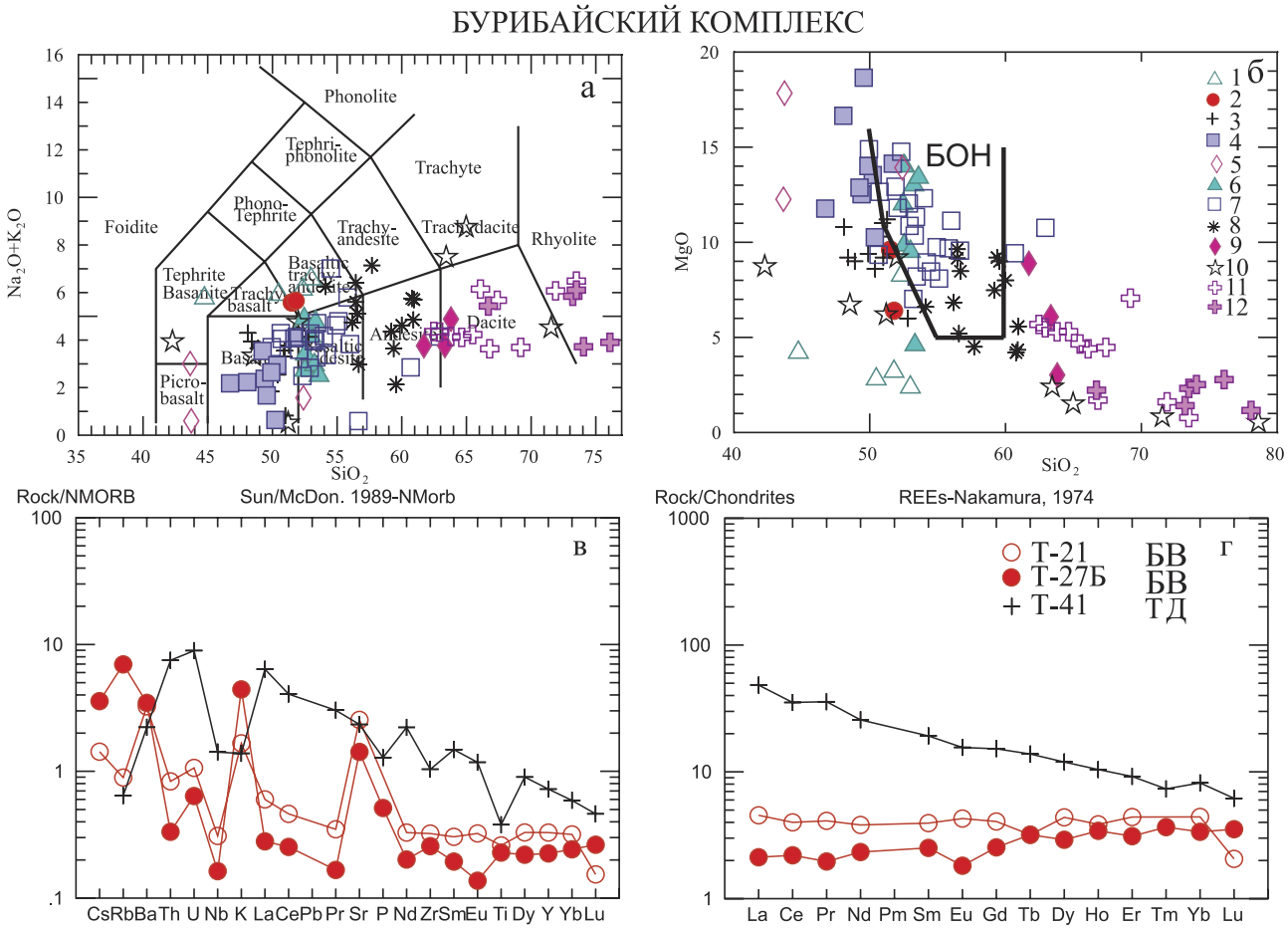


Рис. 2. Петрохимические особенности вулканитов бурибайского комплекса

а, б — диаграммы (Na_2O+K_2O) – SiO_2 (а) и MgO – SiO_2 (б): 1 — базальты умереннощелочные низкомагнезиальные (br_1); 2 — базальты умереннощелочные магнезиальные (br_{1-2}); 3 — базальты магнезиальные нормальной щелочности (br_2); 4 — бонинито-базальты (br_2); 5 — пикробазальты и бонинито-базальты Юбилейного колчеданного месторождения (br_2); 6 — бониниты высококальциевые разреза по р. Таналык у д. Хворостянка (br_2); 7 — бониниты из разрезов по р. Таналык у пос. Самарское и ручью Шанхай [Chistyakova, Latypov, 2011] (br_2); 8 — андезибониниты (br_2), Хворостянка; 9 — магнезиальные андезидациты (br_2); 10 — кислые эффузивные породы у д. Хворостянка (br_3); 11 — кислые породы из даек у д. Хворостянка и в урочище Шанхай [Рудно-формационный..., 2001; Аржавитина, 1971]; 12 — кислые эффузивные породы Юбилейного месторождения [Симонов и др., 2004]. **в, г** — распределение редких и редкоземельных элементов на спайдердиаграммах пород/NMORB (в) и порода/хондрит (г): БВ — бонинитовый вариолит, ТД — трахидацит.

Fig. 2. Petrochemical features of volcanites of the Buribay complex

а, б — diagrams (Na_2O+K_2O) – SiO_2 (а), and MgO – SiO_2 (б): 1 — basalts subalkaline low magnesian (br_1); 2 — basalts subalkaline magnesian (br_{1-2}); 3 — basalts magnesian calc-alkaline (br_2); 4 — boninito-bazalts (br_2); 5 — picrobasalts and boninitobazalts of Yubileyny massive sulfide deposit (br_2); 6 — boninites high calcic of the Tanalyk river near Khvorostyanka village (br_2); 7 — boninites of the sections of Tanalyk river at Samarsk stream and Shanghai area [Chistyakova, Latypov, 2011] (br_2); 8 — andeziboninites (br_2), Khvorostyanka; 9 — Mg andezidatsity (br_2); 10 — acidic volcanic rocks from the Khvorostyanka (br_3); 11 — acid rocks from the dykes at the village Khvorostyanka and in the tract of Shanghai [Ore-formation..., 2001; Arzhavitina, 1971]; 12 — acidic volcanic rocks of the Yubileyny mine [Simonov et al., 2004]. **в, г** — distribution and rare earth elements in rocks spiderdiagram rocks/NMORB (в) and the rock/Chondrite (г): БВ — boninitic variolite, ТД — trachydacite.

Бонинито-базальты (см. рис. 2) содержат SiO_2 — 46–52%, характерные для базальтов высокие MgO (10.26–16.65%), пониженные и умеренные Al_2O_3 (10.11–15.68%) и CaO (2.88–9.87%), низкие Na_2O (0.43–3.68%) и K_2O (0.02–0.39%). Для бонинито-базальтов характерны высокие концентрации Cr (169–1011 г/т), Ni (56–381 г/т), умеренные — Co (28–47 г/т) и V (137–274 г/т), низкие содержания Pb (<0.15–9 г/т), Zr (24–79 г/т), Sc (19–36 г/т), Ba (26–85 г/т), широкий разброс концентраций Cu (16–184 г/т), Zn (38–332 г/т), Sr (36–203 г/т).

Бониниты бурибайского вулканического комплекса охарактеризованы в многочисленных работах [Spadea et al., 2002; Chistyakova, Latypov, 2011; Серавкин, Косарев, 1979; Вулканизм..., 1992; Кузьмин, Кабанова, 1991; Косарев, 2001; Косарев

и др., 2005; Косарев, Серавкин, 2009]. Большинство опубликованных аналитических материалов из данных работ использовано на петрохимических (см. рис. 2а, б) и геохимических (см. рис. 2в, г) классификационных диаграммах. В поле бонинитов (см. рис. 2б) располагаются составы собственно бонинитов, которые согласно Петрографическому кодексу России [2008] охватывают интервал SiO_2 52–58%, MgO 8–13%, *магнезиальных андезитов* (SiO_2 56–60%, MgO 5–10%) и андезидацитов (SiO_2 60–63.8%, MgO 3–10.6%) различных участков (см. рис. 2а, б).

В вариолях *бонинитовых вариолитов* присутствует кислое стекло в сочетании с кварц-альбитовым агрегатом. Состав кислого стекла и кварц-альбитового агрегата, содержащих вторичные минералы и поздний клинопироксен, варьирует в следующих пределах (масс. %): SiO_2 64.7–74.36, Al_2O3 20.58–23.8, MgO 0.06–2.1, CaO 0.2–2.58, Na_2O 6.07–11.37, K_2O 0.04–3.4. По составу вариоли отличаются от кремнекислых пород бурибайского комплекса повышенными глиноземистостью, суммарной щелочностью, натриевостью и, в отдельных случаях, калиевостью, что не позволяет безоговорочно считать вариоли аналогами и предтечей кислых пород.

Базальт-риолитовая толща в основном сложена кислыми эффузивами с прослоями базальтов. В кислых эффузивных породах диапазон колебаний K_2O варьирует от 0.05 до 1.68%, Na_2O — от 4.3 до 8.65%. В наиболее щелочных разновидностях обнаруживаются повышенные количества РЗЭ и высокие значения La/Yb, что свидетельствует о первичномагматической умереннощелочной специфике этих пород. Концентрации Zr в кислых породах бурибайского комплекса варьируют от 47 до 84 г/т, что сопоставимо с аналогичными породами толеитовой и бонинитовой серий островных дуг Тонга-Кермадек и Южно-Сандвичевой [Петрология и геохимия..., 1987].

Колчеданные месторождения бурибайского комплекса (Бурибайское и Юбилейное) относятся к уральскому-1 типу, характеризующемуся значительным преобладанием Cu над Zn и залеганием среди базальтов или на границе подстилающих базальтов и перекрывающих руды кислых вулканитов.

Так, Юбилейное месторождение, крупное по запасам руд и металлов (2714 тыс. т Cu и Zn), локализовано в верхней части разреза бурибайского комплекса. Наиболее крупные рудные тела залегают непосредственно на базальтах пиллоу-базальт-вариолитовой толщи ($b\text{-}br_2$) и перекрываются кислыми породами ($b\text{-}br_3$), среди которых присутствуют мелкие рудные тела.

По сумме имеющихся данных основные особенности рассмотренного комплекса сводятся к следующему.

1. Подрудные вулканиты представляют собой единую ассоциацию бонинитовой серии. В эту ассоциацию входят и пикробазальты, обнаруженные И.Б. Серавкиным на рудном поле Юбилейного месторождения.

2. В основании толщи пиллоу-базальтов-бонинитов установлено проявление эффузивных подушечных базальтов, по химизму близких к основным породам подводных океанических плато. Эти базальты можно увязывать с разрывом слэба и проявлением вулканизма, близкого к внутриплитному.

Баймакский, макан-октябрьский и гайский колчеданоносные комплексы, расположенные с севера на юг в Тубинско-Гайском рудоносном поясе, сложены преимущественно отложениями верхнеталыкской свиты ($D_1e_2\,vtn$), представленной непрерывной базальт-андезит-риолитовой формацией.

Баймакский комплекс вмещает более 20 мелких барит-золото-полиметаллических колчеданных месторождений (№№ 4–15 на рис. 1) [Колчеданные месторождения..., 1973; Серавкин, 1986; и др.]. В нижней части разреза комплекса (месторождение Бакр-тау и др.) встречаются контрастные базальт-риодацитовые пачки вулканитов, характерные для бурибайского комплекса, но основной объем баймакского комплекса слагают отложения верхнеталыкской свиты, в которой выделяются две толщи. Нижнюю из них слагают вулканиты андезибазальтового и андезитового состава (последние тяготеют к верхам толщи [Серавкин, 1986; и др.]). В верхней толще преобладают кислые вулканиты. Колчеданно-полиметаллические месторождения локализованы как в нижней толще, занимая положение в кровле кислых пород (Бакр-тау и Тубинское), так и в верхней, располагаясь в пачках вулканитов андезитового состава (Восточно-Семеновское) или, чаще, ассоциируясь с прослоями кислых пород среди нижней толщи (Таш-тау) и залегая в кровле кислых вулканитов (Майское).

К петро-геохимическим особенностям баймакского комплекса, выясненным авторами, относятся следующие:

1. Базальты баймакского комплекса [Косарев и др., 2005] относятся к магнезиальной известково-

щелочной серии (рис. 3): MgO 6.6–10.63%, Al_2O_3 14.53–17%, FeO_t 7.4–9.12%, Ba 87–132 г/т, Sr 57–251 г/т, Zr 33–75 г/т. В единичных пробах андезибазальтов и андезитов содержания MgO достигают 6%, базальтов — 8%. Все фигуративные точки располагаются вблизи, редко на границе поля бонинитов и известково-щелочных пород в координатах SiO_2 – MgO. Широкий размах содержаний обнаруживают Cr 42–430 г/т, Ni 98–290 г/т, что может быть связано с присутствием Cr-шпинели или фракционированием оливина.

2. Кислые породы баймакского комплекса в основном вписываются в известково-щелочную магнезиальную серию (см. рис. 3).

По соотношениям количеств Rb с Y и Nb, Rb с Yb и Ta, Nb с Y [Pearce et al., 1984] фигуративные точки проанализированных кислых пород (рис. 4е, ж, з) располагаются в поле составов надсубдукционных вулканических дуг.

По концентрациям Al_2O_3 и Yb (см. рис. 4д, з) кислые эффузивные, субвулканические и интрузивные породы баймакского комплекса занимают позицию, промежуточную между низкоглиноземистыми (океаническими) и высокоглиноземистыми (континентальными) трондьемитами [Арт, 1983]. По содержаниям Yb большинство фигуративных точек кислых пород располагается в поле составов, обедненных тяжелыми РЗЭ, меньшая

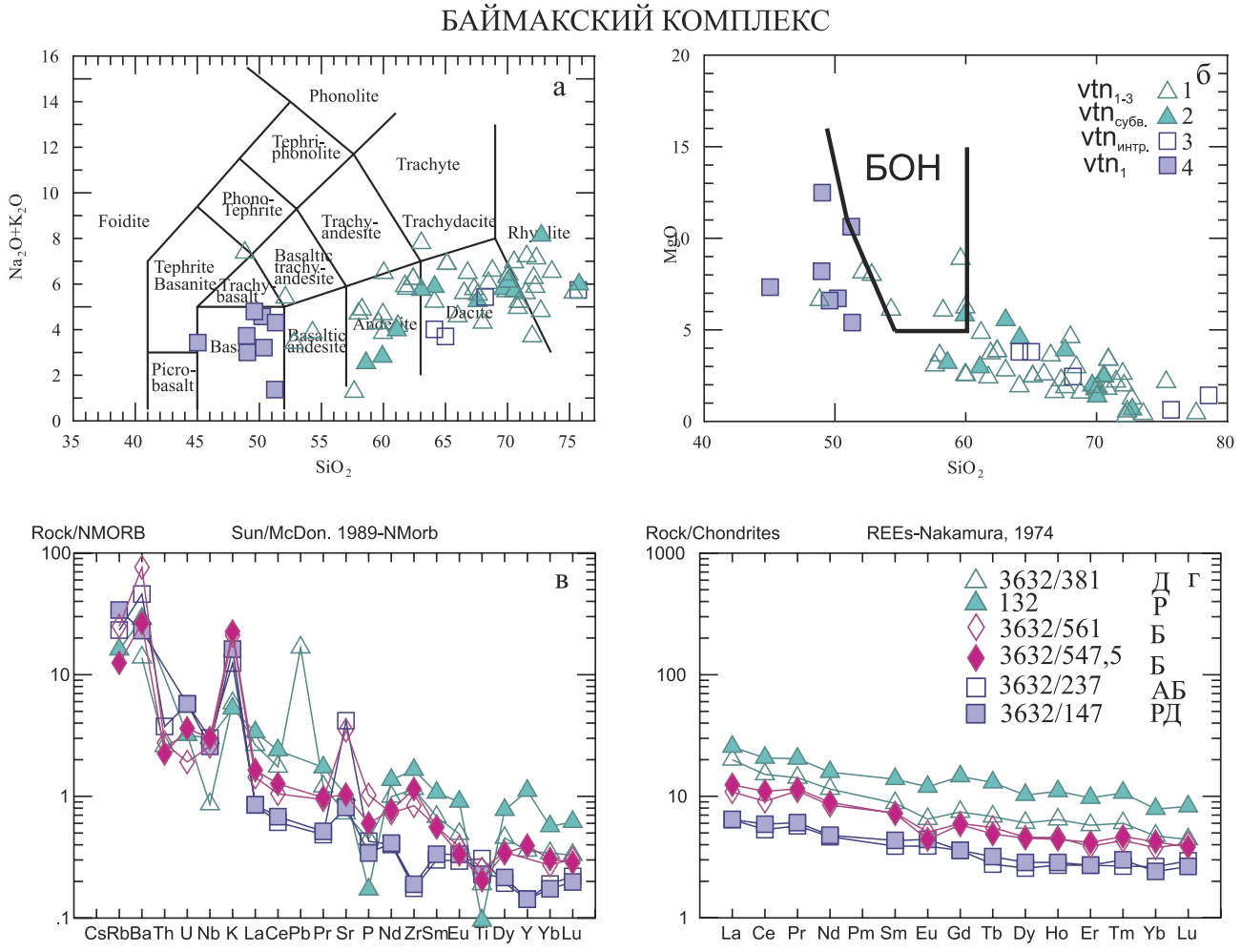
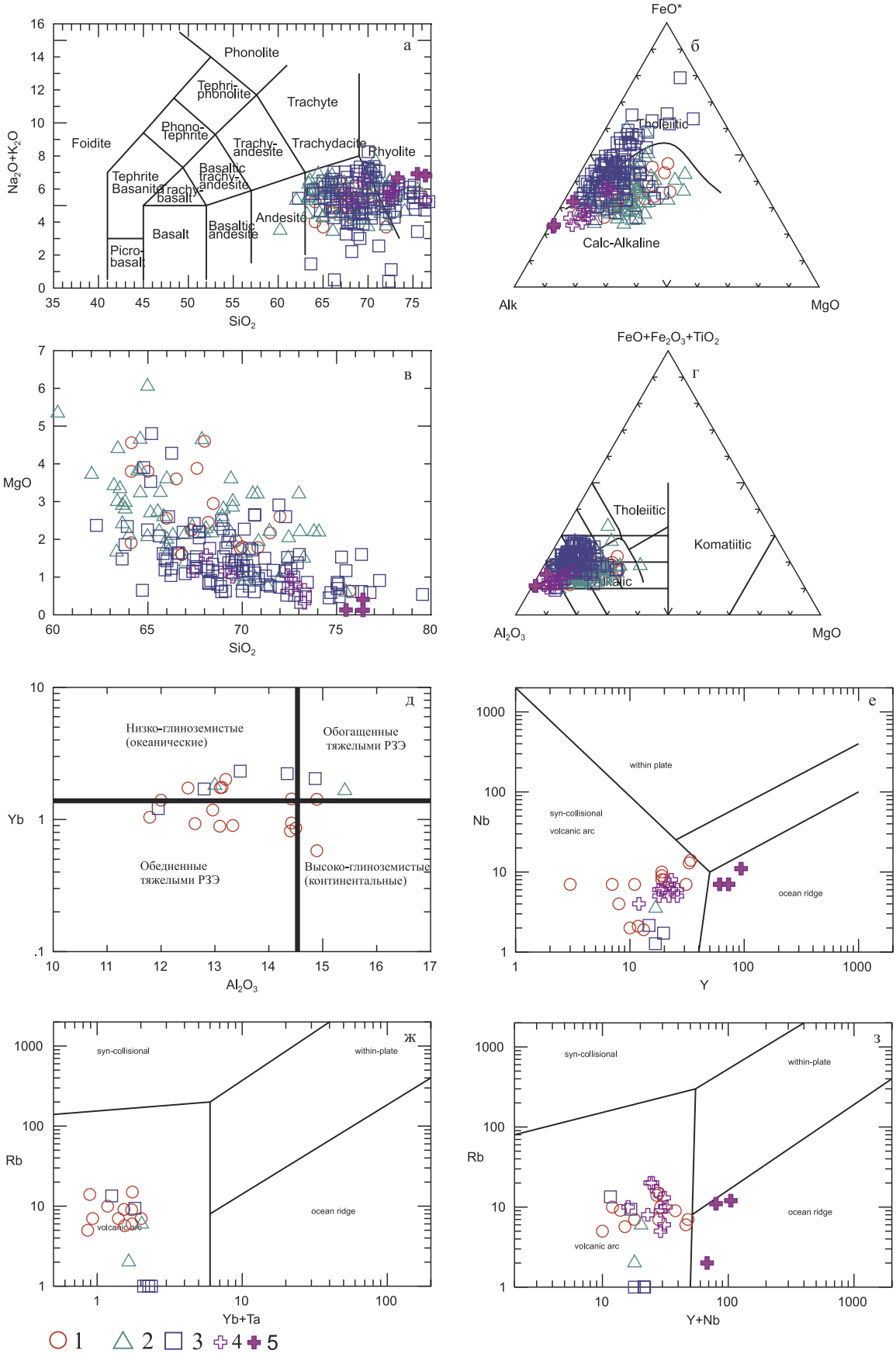


Рис. 3. Петрохимические (а, б) и геохимические (в, г) особенности пород баймакского комплекса

а, б: 1 — эффузивные породы; 2 — субвулканические дациты, риодациты; 3 — интрузивные гранодиориты и плагиограниты; 4 — базальты [Колчеданные месторождения..., 1973; Косарев и др., 2014]; БОН — поле бонинитов. **в, г:** Д — дацит, Р — риолит, Б — базальт, АБ — андезибазальт, РД — риодацит.

Fig. 3. Petrochemical (a, б) and geochemical (в, г) features of the rocks of the Baymak complex

a, б: 1 — effusive rocks; 2 — subvolcanic dacites, rhyodacites; 3 — intrusive granodiorites and plagiogranites; 4 — basalts [The massive sulfide..., 1973; Kosarev et al., 2014]; БОН — field of boninites. **в, г:** Д — dacite, Р — rhyolite, Б — basalt, АБ — andesibasalt, РД — rhyodacite.


а
Phonolite
Tephri-phonolite
Trachyte
Phono-Tephrite
Foidite
Trachy-andesite
Trachydacite
Rhyolite
Tephrite Basanite
Basaltic trachy-andesite
trachy-basalt
Andesite
Basalt
Basaltic andesite
Picro-basalt
Na2O+K2O
SiO2
б
FeO*
tholeiitic
Calc-Alkaline
Alk
MgO
в
MgO
SiO2
г
FeO+Fe2O3+TiO2
Tholeiitic
Komatiitic
Al2O3
MgO
д
Низко-глиноземистые (океанические)
Обогащенные тяжелыми РЗЭ
Обедненные тяжелыми РЗЭ
Высоко-глиноземистые (континентальные)
Yb
Al2O3
е
within plate
syn-collisional volcanic arc
ocean ridge
Nb
Y
ж
syn-collisional
within-plate
ocean ridge
volcanic arc
Rb
Yb+Ta
з
syn-collisional
within-plate
ocean ridge
volcanic arc
Rb
Y+Nb
1 2 3 4 5

← Рис. 4. Петрохимические и геохимические особенности кислых вулканитов Тубинско-Гайского палеовулканического пояса. Верхнетаналыкская свита ($D_1e_2^2$)

1 — Баймакского рудного района, 2 — Макан-Октябрьского рудного района, 3 — Гайского рудного поля, 4 — Трондьемиты комплекса Литл-Порт, 5 — Трондьемиты комплекса Бей-оф-Айлендс [Трондьемиты ..., 1983].

Fig. 4. Petrochemical and geochemical features of acid volcanics of the Tubinsk-Gai palevolcanic belt. The Verhnetanalyk Formation ($D_1e_2^2$)

1 — Baymak ore district, 2 — Makan-Oktyabrsk ore district, 3 — Gai ore field, 4 — Trondjemites of the Little Port complex, 5 — Trondjemites of the Bay-of-Islands complex [Trondhjemites..., 1983].

часть точек попадает в область обогащенных Yb составов пород. Границу между полями обогащенных ТРЗЭ и обедненных ими Д.Г. Арт [1983] проводит на уровне концентраций Yb 1.5 г/т. Наиболее заметно обогащены Yb интрузивные породы плагиогранитного и гранодиоритового составов, в которых концентрации Yb варьируют от 1.4 до 1.74 г/т.

На спайдердиаграммах (см. рис. 3) нормированных значений РЗЭ виден нисходящий от легких к тяжелым РЗЭ характер вариационных кривых, свидетельствующий об обогащении пород ЛРЗЭ и обеднении ТРЗЭ.

На спайдердиаграмме порода/NMORB в большинстве случаев проявлены негативные аномалии Ti, Y, P, Nb, к которым нередко присоединяются U и Th, La, Ce, Pr. Во многих случаях (см. рис. 3в, г) присутствуют положительные геохимические аномалии K, Sr, Zr, Ba. Следует отметить, что негативные аномалии Nb в субвулканических и интрузивных породах проявлены слабее, что можно объяснить более высокими его концентрациями в этих породах, по сравнению с эффузивными дацитами и риодацитами. В целом распределение нормированных значений петрогенных и микроэлементов на спайдердиаграммах кремнекислых пород отражает сложный характер возникновения и эволюции всего фациального ряда кремнекислых пород, включающих процессы выплавления материнских магм, флюидную и кристаллизационную дифференциацию и постмагматические метаморфо-метасоматические преобразования. Нельзя исключить, что кремнекислые породы экструзивно-субвулканической и интрузивной фаций, имеющие сходство с трондьемитами, могли возникнуть на завершающем этапе вулканического цикла.

3. Месторождения баймакского комплекса относятся к Au-колчеданно-полиметаллическому типу (Zn>Cu+Au) [Серавкин, 2007]. Все месторождения по запасам мелкие, с суммарным количеством Cu и Zn от 58.1 до 100 тыс. т. Среди руд баймакских месторождений выделяются медно-цинковые, медно-цинково-свинцовые, золото-колчеданные, золото-баритовые, золото-барит-полиметаллические, цинковоколчеданные и др. Структурные соотношения руд, эффузивно-экструзивных и экструзивно-субвулканических пород свидетельствуют о раннем формировании массивных Cu-Zn колчеданных руд и более позднем — полиметаллических и золото-баритовых разновидностей. Поздняя стадия рудообразования проходила после внедрения кислых пород экструзивно-субвулканического комплекса.

Макан-октябрьский комплекс, вмещающий одноименные месторождения (№ 18 на рис. 1), занимает центральное положение в Тубинско-Гайском металлогеническом поясе между Баймакским и Гайским рудными районами. Главной рудоконтролирующей структурой на этой площади является вершинная кальдера Маканского стратовулкана, имеющего диаметр основания около 17 км и размер кальдеры по меридиану — 3 км. Комплекс состоит из трех толщ: нижней, базальт-андезибазальтовой, средней, андезит-андезибазальтовой и верхней, дацит-риолитовой [Вулканизм..., 1992; Среднепалеозойский..., 1983]. Преобладающая масса вулканитов собственно макан-октябрьского колчеданоносного комплекса принадлежит к известково-щелочной магнезиальной серии. В подчиненном количестве присутствуют вулканиты умеренно-щелочной (базальты) и бонинитовой серий (рис. 5б), а также толеитовой магнезиальной серии. Принадлежность части базальтов к толеитовой магнезиальной серии подтверждается распределением РЗЭ (см. рис. 5г, пробы БТ).

Таким образом, большинство пород рассматриваемого комплекса принадлежит к магнезиальной известково-щелочной серии, что сближает его с баймакским комплексом. Отличительной чертой макан-октябрьского комплекса является присутствие вулканитов островодужной толеитовой магнезиальной серии.

Гайский комплекс, вмещающий суперкрупное Гайское месторождение (№ 21 на рис. 1), контролируется крупной кольцевой структурой диаметром около 50 км, внутри которой по геофизическим

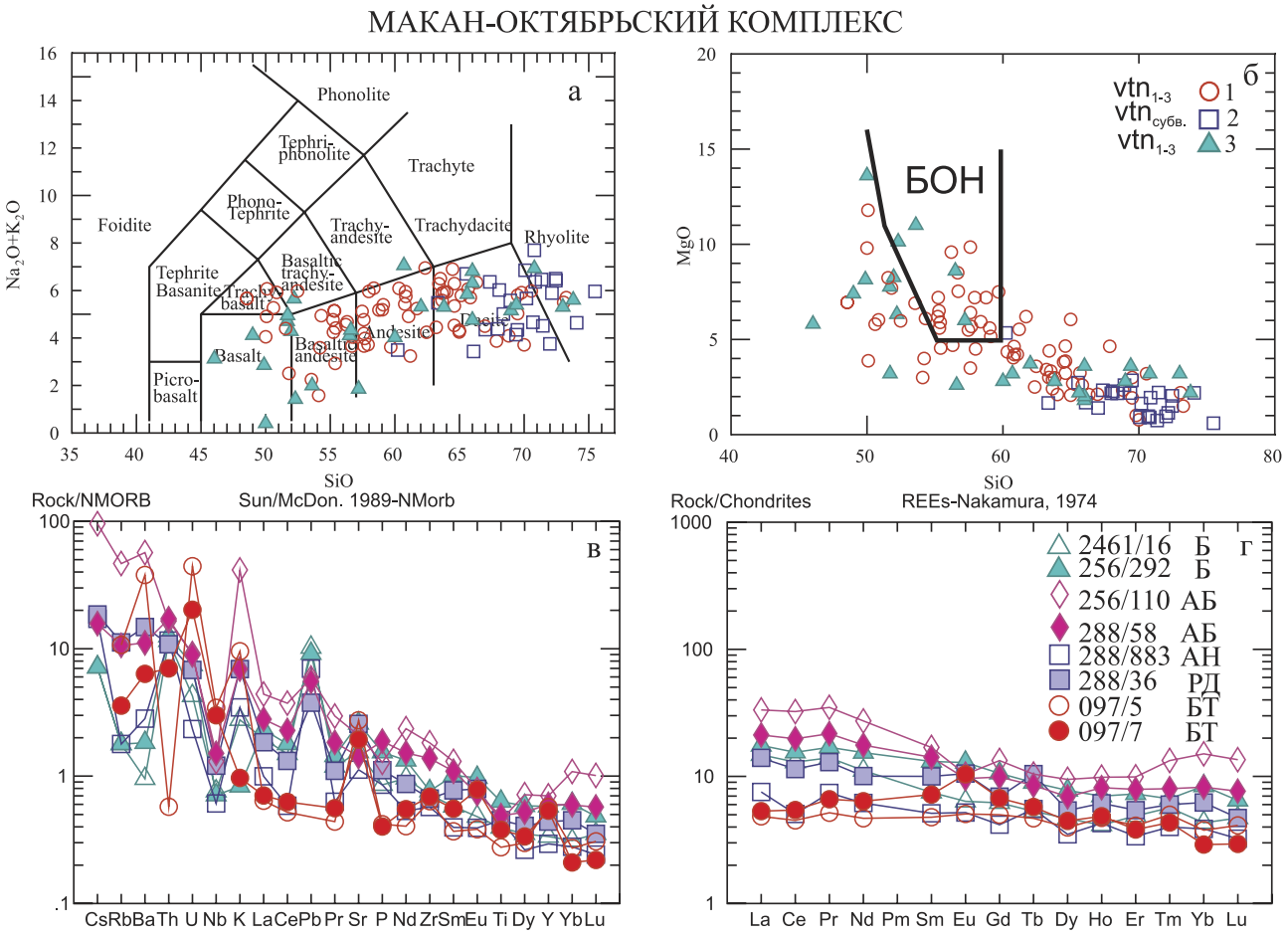


Рис. 5. Петрохимические (а, б) и геохимические (в, г) особенности пород макан-октябрьского палеовулканического комплекса

а, б: 1 — эффузивные породы, 2 — субвулканические и экструзивные породы [Биков, 1973ф], 3 — эффузивные породы [Петрографический..., 2008; неопубликованные материалы автора]; **в, г:** Б — базальт, АБ — андезибазальт, АН — андезит, РД — риодацит, БТ — базальт толеитовый.

Fig. 5. Petrochemical (а, б) and geochemical (в, г) features of the rocks of the Makan-October paleovolcanic complex

а, б: 1 — effusive rocks, 2 — subvolcanic and extrusive rocks [Биков, 1973ф], 3 — effusive rocks [Petrographic..., 2008; unpublished materials of the author]; **в, г:** Б — basalt, АБ — andesibasalt, АН — andesite, РД — rhyodacite, БТ — basalt tholeiitic.

данным [Прокин и др., 2004] отмечается куполообразное поднятие диаметром 22–32 км. По данным геологоразведочных и научно-исследовательских работ [Прокин и др., 2004; Бородаевская и др., 1979; Серавкин, Скуратов, 2009; и др.] гайский комплекс слагают 2 толщи: 1) нижняя базальтовая, вскрытая наиболее глубокими скважинами и 2) рудовмещающая андезит-дацит-риолитовая [Прокин и др., 2004]. В рудовмещающей толще М.Б. Бородаевской с соавторами [1979] выделялось 3 подтолщи, образованные соответствующими ритмами вулканизма и завершавшиеся рудообразованием: 1) нижняя андезит-дацитовая, 2) средняя риолито-дацитовая и 3) верхняя дацитовая. Подрудная базальтовая и рудовмещающая дифференцированная толщи относятся к баймак-бурибаевской свите (D_1e*b-br*) и слагают сильно деформированную вулканическую постройку брахиантиклинальной формы. Рудовмещающая постройка перекрыта отложениями ирендыкской свиты (нижняя вулканогенно-осадочная и верхняя андезито-базальтовая толщи) (D_1–D_2ef) и флишоидными отложениями улутауской свиты (D_2ef–žv).

Авторами уточнен петро- и геохимический состав рудовмещающей и подрудной толщ.

Совокупность петрохимических и геохимических материалов позволяет выделять в составе гайского колчеданоносного комплекса толеитовую

островодужную, известково-щелочную, включающую серию с повышенной магнезиальностью, и умереннощелочную серии. Толеитовые базальты имеют следующий состав: SiO_2 45.2–53.28%, TiO_2 0.5–0.75%, Al_2O_3 15–20.1%, FeO_t 9–12.85, MgO 2.33–6%, CaO 3.18–9.76%, Na_2O 1.05–4.32%, K_2O 0.04–1.77%, Rb 2–9 г/т, Cr 60.1 г/т, Co 38.1 г/т, Ni 28.6 г/т, Cu 10.3 г/т, Zn 102 г/т, Y 7.84 г/т, Nb 0.84 г/т, Zr 12.9 г/т, Th 0.17 г/т, La 1.17 г/т, Yb 0.72 г/т La/Yb 1.6. Весьма показательны для обоснования сериальной принадлежности вулканитов гайского комплекса спайдердиаграммы, построенные по нормированным концентрациям микроэлементов (рис. 6в–е). Толеитовые базальты отличаются низкими концентрациями РЗЭ, Cr, Ni, Cu, Nb, Zr, Th, в них проявлены негативные геохимические аномалии Nb, Zr, La, Ce, положительные Sr, Pb. Базальты умереннощелочной серии имеют (см. рис. 6г) более высокий уровень концентраций РЗЭ и слабый наклон графика порода/хондрит от ЛРЗЭ к ТРЗЭ. Проанализированные кислые породы обнаруживают слабое обогащение ЛРЗЭ, характерное для известково-щелочных серий. На диаграммах, построенных по петрогенным оксидам, видно, что все кислые породы обладают нормальной щелочностью, характерной для известково-щелочных серий (см. рис. 6а, б). На диаграммах AFM, $Al_2O_3 – FeO_t – MgO$ кислые породы гайского комплекса располагаются в поле как известково-щелочной, так и толеитовой серий. По глиноземистости и концентрациям Yb большая часть кислых пород относится к низкоглиноземистому типу с обогащением Yb, характерному для океанических ассоциаций. На диаграммах Пирса [Pearce et al., 1984] кислые породы гайского комплекса располагаются в поле вулканических дуг и образуют поле, единое с трондьемитами типа Литл-Порт [Малпас, 1983]. Эти сведения позволяют предполагать, что часть кислых пород возникла в результате частичного плавления базитов нижней коры. Наличие переходных типов пород между основными и кислыми разновидностями свидетельствует о процессах магматической и кристаллизационной дифференциации в промежуточных магматических очагах на путях движения магм к поверхности.

Таким образом, вулканиты гайского комплекса обладают совокупностью петрохимических и геохимических особенностей, присущих другим комплексам Тубинско-Гайской зоны — бурибайскому и макан-октябрьскому. Гайский комплекс совмещает вулканиты умеренно-щелочной, толеитовой островодужной и известково-щелочной серий.

Подольский палеовулканический комплекс (D_2ef_1ir) расположен в западном крыле Магнитогорского мегасинклинория, в Южно-Ирендыкской структурно-фациальной зоне, к востоку от макан-октябрьского комплекса (см. рис. 1). Основной структурой подольского комплекса является одноименный кальдера-вулкан [Серавкин, Косарев, 1983], вмещающий крупное Подольское и ряд более мелких месторождений. В строении кальдера-вулкана выделяются 4 толщи (снизу вверх): 1 — дацит-риолитовая (вмещающая Подольское месторождение), 2 — кварцевых андезитов и андезибазальтов (гибридная), 3 — пиллоу-базальт-дацит-риодацитовая, 4 — андезибазальт-кварцево-андезит-риодацитовая. На северо-восточном и восточном флангах кальдера-вулкана залегает посткальдерная (сукраковская) толща K-Na трахидацит-риолитов.

По петрохимическим и геохимическим материалам вулканиты четырех толщ внутрикальдерного комплекса относятся к серии, промежуточной между толеитовой островодужной и известково-щелочной сериями (рис. 7а, б). Исключение составляют надрудные пиллоу-базальты третьей толщи, которые относятся к островодужной толеитовой, реже к умереннощелочной сериям. Отнесение к промежуточной («переходной») серии связано с тем, что кислые породы нижней толщи, кварцевые андезиты и андезибазальты второй и четвертой толщ не обнаруживают характерного для толеитовой серии накопления железа. В то же время эти породы имеют уровень концентраций Zr, Y, Ba, La, Sm, U, Th, характерный для толеитовых серий. При этом стиль распределения РЗЭ, с характерным накоплением легких лантаноидов относительно тяжелых, указывает на наличие в этих вулканитах известково-щелочных свойств. Базальты третьей толщи по своим геохимическим характеристикам, включая РЗЭ, относятся к островодужной толеитовой серии, а кремнекислые породы той же толщи имеют широкий размах характеристик с параметрами как толеитовой, так и известково-щелочной серий (см. рис. 7а–г). Примером таких серий в кайнозойских островных дугах могут служить вулканиты дуги Фиджи [Петрология..., 1987].

Интрузивные породы подольского комплекса по содержаниям SiO_2 варьируют от габбро-диоритов до гранитов. На диаграммах $SiO_2 – (Na_2O+K_2O)$ и $SiO_2 – MgO$ большая часть интрузивных пород имеет близкие и пониженные концентрации суммарной щелочности и повышенные количества MgO (см. рис. 7а, б), что, скорее всего, связано

ГАЙСКИЙ КОМПЛЕКС

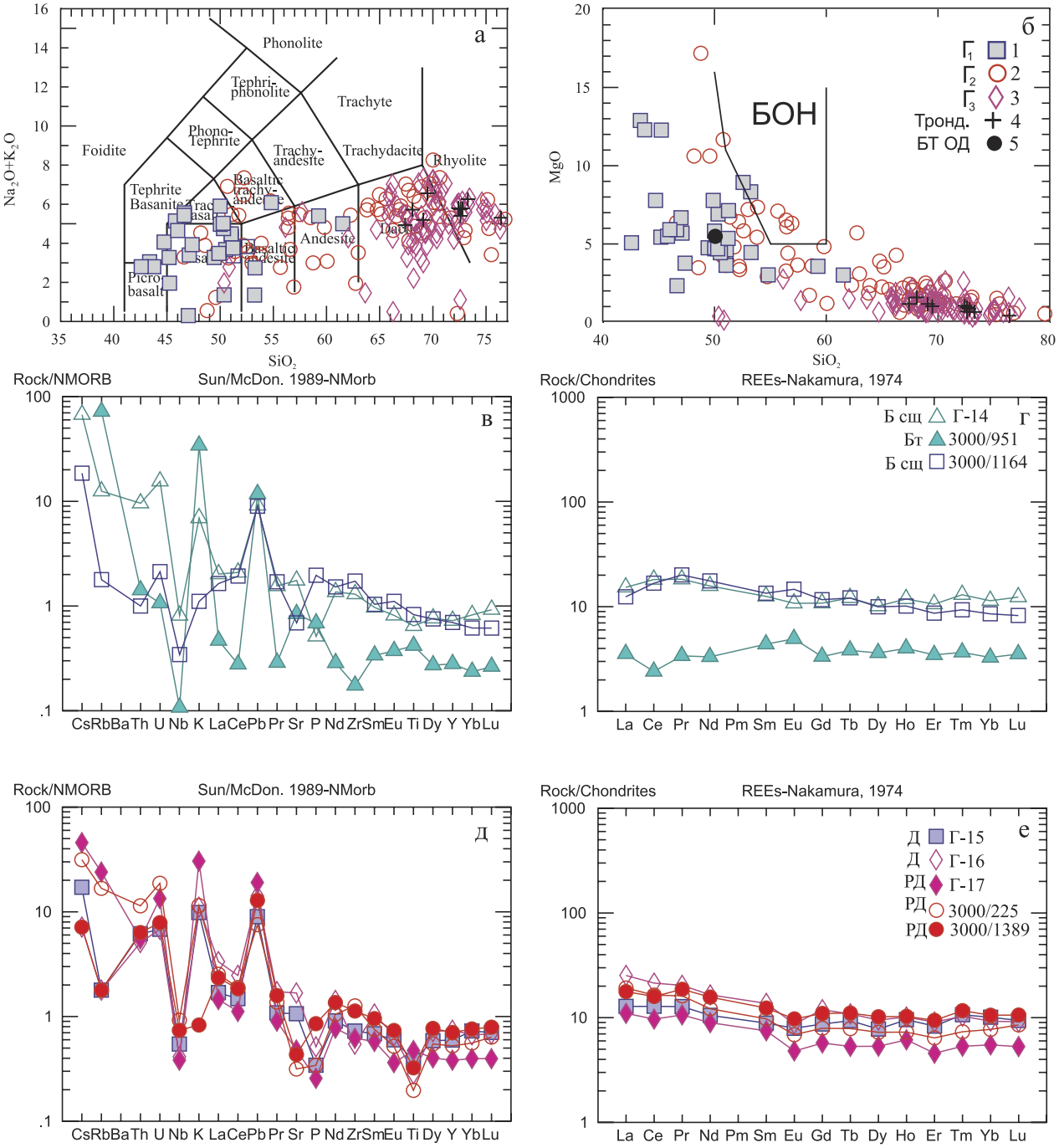


Рис. 6. Петрохимические (а, б) и геохимические (в, г, д, е) особенности вулканитов гайского комплекса

а, б: 1 — базальты и андезиты нижней толщи, 2 — вулканиты базальт-андезит-дацит-риолитового состава нижней подтолщи второй толщи, 3 — вулканиты дацит-риолитового состава верхней подтолщи второй толщи, 4 — трондьемиты [Малпас, 1983], 5 — БТ ОД (базальт толеитовый островных дуг), БОН — поле бонинитов; **в, г** — основные породы: $Б_{сщ}$ — базальт субщелочной, $Б_{т}$ — базальт толеитовый; **д, е** — кислые породы: Д — дацит, РД — риодацит.

Fig. 6. Petrochemical (а, б) and geochemical (в, г, д, е) features of volcanics of the Gai complex

а, б: 1 — basalts and andesites of the lower stratum, 2 — volcanites of the basalt-andesite-dacite-rhyolite composition of the lower sub-basin of the second stratum, 3 — volcanites of the dacite-rhyolite composition of the upper sub-basin of the second sequence, 4 — trondhjemites [Malpas, 1983], 5 — БТ ОД (bazalt of tholeiitic island arcs), БОН — field of boninites; **в, г** — basic rocks: $Б_{сщ}$ — basalt subalkaline, $Б^{т}$ — basalt tholeitic; **д, е** — acid rocks: Д — dacite, РД — rhyodacite.

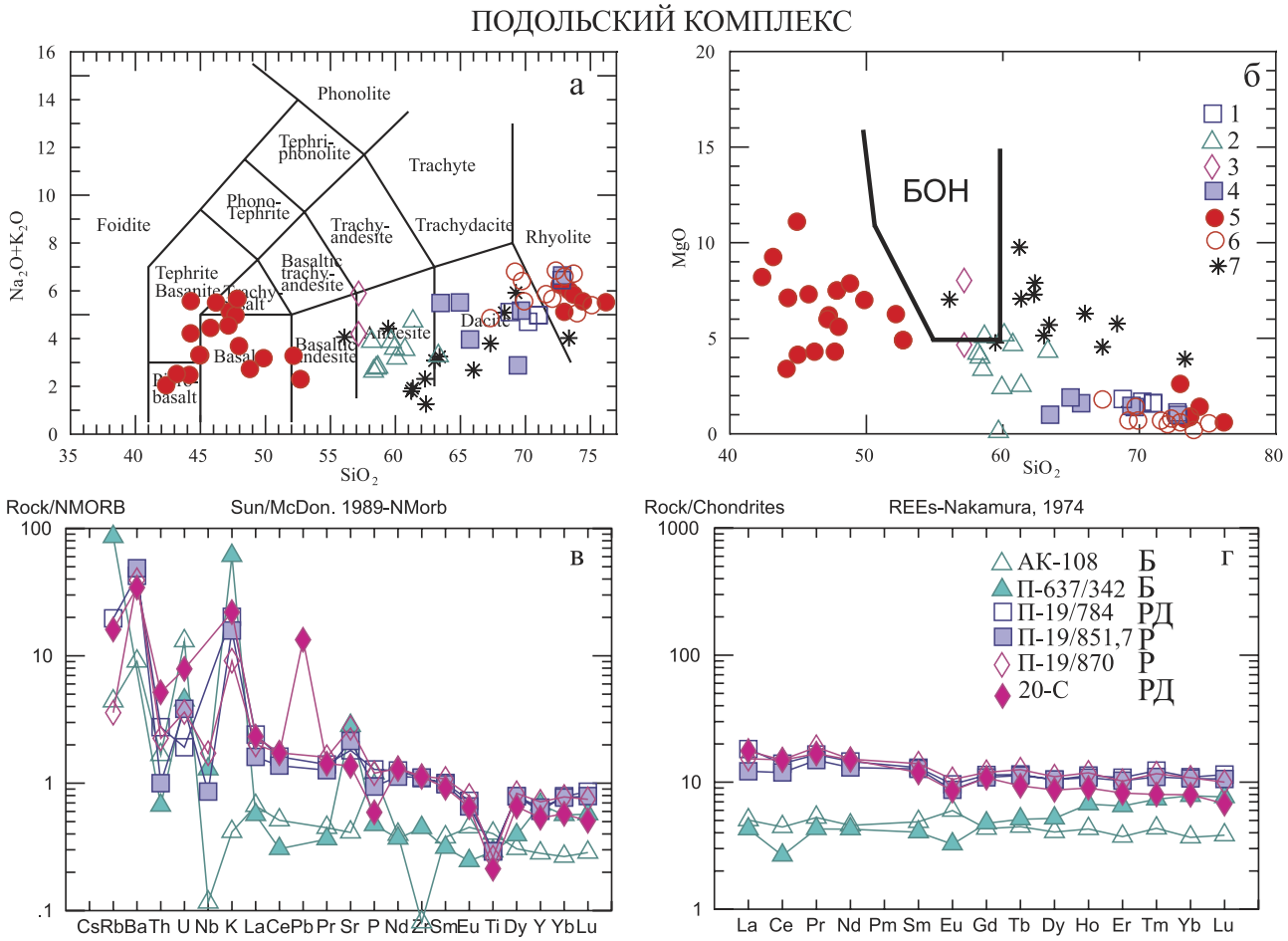


Рис. 7. Петрохимические (а, б) и геохимические (в, г) особенности подольского палеовулканического комплекса

а, б: 1 — дациты и риодациты нижней толщи ирендыкской (*ir*) свиты, 2 — кварцевые андезиты первой (нижней) и второй толщ *ir* свиты, 3 — кварцевые андезиты месторождения Балта-тау, 4 — кислые породы второй и третьей толщ *ir* свиты, 5 — базальты и риолиты третьей толщи *ir* свиты, 6 — риодациты и риолиты экструзивные и субвулканические, 7 — габбро-диориты и плагиограниты; **в, г:** Б — базальт, РД — риодацит, Р — риолит.

Fig. 7. Petrochemical (а, б) and geochemical (в, г) features of the Podol paleovolcanic complex

а, б: 1 — dacites and rhyodacites of the lower stratum of the Irendyk (*ir*) suite, 2 — quartz andesites of the first (lower) and second strata of the *ir* suite, 3 — quartz andesites of the Balta-tau deposit, 4 — acid rocks of the second and third layers of the *ir* suite, 5 — basalts and rhyolites of the third thickness of the *ir* suite, 6 — rhyodacites and rhyolites, extrusive and subvolcanic, 7 — gabbrodiorites and plagiogranites; **в, г:** Б — basalt, РД — rhyodacite, Р — rhyolite.

с подрудным положением этого комплекса. По петрографическим и петрохимическим материалам в интрузивных породах обнаруживается постоянная хлоритизация, пиритовая, редко халькопиритовая минерализация, альбитизация плагиоклаза, эпидотизация.

Руды крупного (2780.4 тыс. т Cu+Zn) Подольского месторождения уральского 2 типа образуют Cu-Zn-колчеданную залежь, расположенную в апикальной зоне экструзивного купола, венчающего нижнюю толщу подольского комплекса.

Таким образом, подольский колчеданоносный комплекс сформировался в Южно-Ирендыкской зоне, в области развития гибридной дифференцированной формации ирендыкской свиты ($D_2ef_1ir_{1-4}$).

Восточно-подольский (сукраковский) комплекс, вмещающий одноименное месторождение (№ 41 на рис. 1), расположен на северо-восточном фланге Подольского кальдера-вулкана, и образован пятой толщей ирендыкской свиты ($D_2ef_1ir_5$).

Комплекс имеет ритмично-слоистое строение и сложен преобладающими вулканическими брекчиями, туфами и тефроидами. Вблизи палеовулканических центров встречаются экструзивные тела и эффузивные потоки трахидацитов.

Палеовулканическая и металлогеническая зональность Тубинско-Гайского пояса

Рассматриваемый пояс обладает отчетливо выраженной зональностью в размещении вулканических комплексов и колчеданного оруденения, выраженной в закономерном изменении петро-геохимических свойств вулканитов, состава и размеров оруденения. Зональность проявляется как в широтном, так и в меридиональном направлениях. Широтная зональность наиболее отчетливо проявилась в средней части пояса, где она является фрагментом более обширной зональности, охватывающей сопредельные зоны с запада (ивановский комплекс зоны Главного Уральского разлома, ГУР) и с востока (сукраковский комплекс восточной части Западно-Магнитогорской зоны и джусинский, киембаевский и акжарский комплексы Восточно-Магнитогорской зоны).

Широтная зональность обусловлена восточным погружением субдукционного слэба, выход на поверхность которого фиксируется в зоне ГУР.

Петрохимические и геохимические исследования позволили уточнить, а для кислых вулканитов — впервые установить петрохимическую сериальную принадлежность исследованных колчеданоносных комплексов (табл.).

Совокупность ранее полученных [Косарев и др., 2014] и новых петро-геохимических данных, а также сведений о юных и современных островодужных системах [Косарев, Серавкин, 1994; Косарев и др., 2014; Серавкин, 2010] позволяет уточнить ранее предложенную модель надсубдукционного вулканизма и колчеданообразования Магнитогорской мегазоны (рис. 8).

В течение эмсско-раннеэйфельского цикла вулканизма с запада на восток был создан следующий ряд колчеданоносных комплексов, обладающих определенными петро-геохимическими характеристиками: ивановский офиолитовый комплекс, расположенный в аккреционной зоне фронтальной островной дуги; комплексы фронтальной островной дуги: бурибайский контрастный базальт-риолитовый, включающий вулканиты бонинитовой и толеитовой островодужной серий; макан-октябрьский комплекс, принадлежащий к непрерывной базальт-андезит-риолитовой формации, сочетающей толеитовую островодужную и известково-щелочную серии вулканитов.

Подольский комплекс принадлежит к зоне развитой островной дуги, к гибридной базальт-андезибазальт-андезит-риодацитовой формации, вулканиты которой сочетают толеитовую островодужную, переходную от толеитовой к известково-щелочной и известково-щелочную петрохимические серии. Тыловую зону островной дуги представляют сукраковский и джусинский комплексы, относящиеся к непрерывно дифференцированной формации и включающие вулканиты шошонитовой серии с известково-щелочным уклоном. Наконец, наиболее восточный киембаевский комплекс, формировавшийся в задуговом бассейне, сложен базальтами толеитовой океанической серии.

Параллельно с геодинамической и петролого-геохимической зональностью в средней части пояса проявлена зональность в изменении типов колчеданных месторождений: Ni-Co-Cu-колчеданный (Ивановское и др. месторождения) → Cu-Zn-колчеданный (Cu > Zn, Юбилейное и Бурибайское, Маканское, Октябрьское, Подольское месторождения) → Ba-полиметаллически-колчеданный (Восточно-Подольское, Джусинское и Барсучий лог месторождения) → Cu-колчеданный (Летнее, Осеннее, Левобережное месторождения).

В течение позднего вулканического цикла (D_2ef_2–žv) на границе развитой и тыловой частей островной дуги проявился спрединг и сформировались комплексы карамалыташской свиты и ее возрастных аналогов, образовавшие Бакрузяк-Сибайский и Учалинско-Александринский колчеданоносные пояса (см. рис. 8 и рис. 1).

Еще одним свидетельством справедливости предложенной модели (см. рис. 8) служат расстояния между колчеданными месторождениями в субширотной цепочке [Косарев, Серавкин, 1994]: Ивановское (Co-Cu-колчеданное) — Бурибаевское (Cu > Zn) — Макан-Октябрьское (Cu > Zn) — Подольское (Cu > Zn) — Восточно-Подольское (барит-полиметаллическое Zn-Cu-Pb), которые составляют 17 км, 11 км, 9 км, 5 км. Можно предположить, что тенденция с уменьшением расстояния между месторождениями, залегающими в разнотипных вулканических комплексах, омолаживающихся по возрасту в направлении падения палеозоны субдукции с запада на восток, связана с увеличением угла наклона погружающейся субдукционной плиты. Увеличение угла наклона, вероятно, связано с существенным возрастанием плотности плиты в результате эклогитизации базитов, что характерно для тыловых зон островных дуг [Рингвуд, 1981]. Этот процесс приводил к увеличению глубины зоны магмообразования и возрастанию калиевости и общей щелочности магм.

Таблица

Table

Типы вулканических серий кислых пород Магнитогорской мегазоны Южного Урала и их петрогенезис

Types of volcanic series of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals and their petrogenesis

Рудные поля и районы Южного Урала	Петрохимические серии кислых пород	Характерные черты комплексов и химизма кислых пород	Петрогенетические процессы образования кислых пород
Бурибайский Ивановский	Умереннощелочная Известково-щелочная	Кислые породы завершают разрез бонинитовых вариолитов и бонинито-базальтов, риодациты: K_2O 0.1–1.24%; Na_2O 6.25–8.65%; Zr 47–84 г/т; Cr 11.5–84 г/т; вариоли: SiO_2 64.7–74.36%; MgO 0.6–2.1; Na_2O 6.07–11.37; K_2O 0.04–3.4%	Ликвация толеит-бонинитовых магм Частичное плавление амфиболитов базальтовой коры
Баймакский Макан-Октябрьский Гайский	Известково-щелочная	В разрезах видно чередование дацитов и риодацитов с андезитами и андезибазальтами. Хорошо проявлен общий гомодромный характер эволюции расплавов. В кислых породах Баймакского района: Zr 67–122 г/т; Гайского района: Zr 40–93 г/т; присутствуют толеитовая и известково-щелочная серия базальтов и кислых пород	Кристаллизационная и флюидная дифференциация базальт – андезит – дацит – риодацит Частичное плавление амфиболитов
Суурганский Подольский Кунакайский	Переходная известково-щелочная — толеитовая Толеитовая	Не является дифференциатом базальтовой магмы, подстилаются и перекрываются базальт-андезибазальтовыми толщами Кислые породы залегают в основании антидромной серии (ir_{1-2}) ферродацит-андезит-андезибазальт-пироксенпорфировый базальт. В дацитах Zr 30–96 г/т	Частичное плавление амфиболитов, кристаллизационная дифференциация, гибридизм Кристаллизационная дифференциация
Сукраковский Джусинский	Известково-щелочная Шошонитовая	Сукраковский комплекс: преобладают дациты и риодациты повышенной щелочности Na и K-Na типов. Джусинский комплекс: тефриты – шошониты – латиты – трахиты – трахидациты. В кислых породах: SiO_2 68.24–70.13%; Na_2O 2.49–7.71; K_2O 3.1–5.9; MgO 1–1.97%; Cr 18–31 г/т; Pb 14.3; Rb 54–83; Sr 81–101; Zr 114–355; Ba 428; La 11–31; Yb 2.3 г/т	Кристаллизационная дифференциация шошонитовых базальтовых магм с глубокими очагами в флогопитовой зоне верхней мантии. Андерплейтинг, выплавление кислых маг из нижней базитовой коры
Карамалыташский	Толеитовая Известково-щелочная	Зона внутридугового спрединга, базальты толеитовой островодужной серии. Кислые породы: Zr 48–119 г/т; Al_2O_3 10.3–13%; La 1.9–4.38 г/т; Yb 2.28–5.24 г/т; La/Yb 0.55–1.4, обогащение Yb. Восходящий характер графиков порода/хондрит	Частичное плавление амфиболитов, кристаллизационная дифференциация, гибридизм
Александринский	Толеитовая Известково-щелочная умереннощелочная	Зона внутридугового спрединга, тыловая часть. Кислые породы: Zr 21–238 г/т; Al_2O_3 10–18%. Нисходящий характер графиков порода/хондрит	Кристаллизационная дифференциация Частичное плавление амфиболитов

Рис. 8. Модель надсубдукционного позднеэмсско-позднеэйфельского вулканизма Магнитогорской мегазоны

Условные обозначения: 1 — зоны магмогенерации в мантийном клине; 2 — серпентинитовый меланж; 3–11 — базальтовые магмы, исходные для петрогенетических серий и соответствующих магматических комплексов: 3 — шошонитовая серия, мостостроевский комплекс (D_1e_1); 4 — бонинитовая серия, бурибайский комплекс ($D_1e_2^1$); 5 — известково-щелочная серия, верхнетаналыкский комлекс ($D_1e_2^2$); 6 — известково-щелочная и толеитовая серии, ирендыкский комплекс (D_2ef_1); 7 — шошонитовая серия с известково-щелочным уклоном, сукраковский и джусинский комплексы (D_2ef_1); 8 — толеитовая островодужная серия, карамалыташский комплекс и его возрастные аналоги (D_2ef_2); 9 — кремнекислые породы в составе карамалыташского комплекса; 10 — базальты субконтинентальные, джаилганский комплекс ($D_1e_1^2$), и базальты субокеанические, киембаевский комплекс (D_1e_2); 11 — субщелочные базальты в составе карамалыташского комплекса (D_2ef_2); 12 — кристаллические сланцы Восточно-Уральского микроконтинента; 13 — очаги базальтовых и кислых магм на границе нижняя кора – верхняя мантия; 14 — поднимающиеся мантийные диапиры; 15 — субдукционные флюиды; 16 — предполагаемые области генерации магм: Ш — шошонитовая, ИЩ — известково-щелочная, УЩ — умеренно-щелочная, УЩП — умеренно-щелочная переходная между толеитовой субокеанической и умереннощелочной субконтинентальной, УЩСОК — умеренно-щелочная субокеаническая, УЩСК — умереннощелочная субконтинентальная, ТСОК — толеитовая субокеаническая, ТОД — толеитовая островодужная. **Сокращения:** З — зоны, мегазоны; М — металлогенические типы руд; ГД — геодинамические обстановки; ВУП — Восточно-Уральское поднятие.

Fig. 8. Model of the suprasubduction Late-emsian-Late-eifelian volcanicity of the Magnitogorsk megazone

Legend: 1 — zones of magmogenesis in the mantle wedge; 2 — serpentinite melange; 3–11 — basaltic magmas, initial for petrogenetic series and corresponding magmatic complexes: 3 — shoshonite series, Mostostroy complex (D_1e_1); 4 — boninite series, the Buribay complex ($D_1e_2^1$); 5 — calc-alkaline series, Verhnetanalyk complex ($D_1e_2^2$); 6 — calc-alkaline and tholeiitic series, Irendyk complex (D_2ef_1); 7 — shoshonite series with calc-alkaline slope, Sukrakov and Dzhusa complex (D_2ef_1); 8 — tholeiite island-arc series, Karamalytash complex and its age analogues (D_2ef_2); 9 — silicic rocks in the the Karamalytash complex; 10 — subcontinental basalts, Jailgan complex ($D_1e_1^2$) and suboceanic basalts, Kiembay complex (D_1e_2); 11 — subalkaline basalts in the Karamalytash complex (D_2ef_2); 12 — crystalline schists of the East Uralian microcontinent; 13 — foci of basaltic and acid magmas at the lower crust / upper mantle boundary; 14 — ascending mantle diapirs; 15 — subduction fluids; 16 — proposed magma generation areas: Ш — shoshonite, ИЩ — calc-alkaline, УЩ — moderately alkaline, УЩП — moderately alkaline transition between tholeiitic sub-oceanic and moderately alkaline subcontinental, УШСОК — moderately alkaline sub-oceanic, УШСК — moderate-alkaline subcontinental, TCOK — tholeiitic suboceanic, ТОД — tholeiite island arc. **Abbreviations:** З — zones, megazones; М — metallogenic types of ores; ГД — geodynamic settings; ВУП — East Ural uplift.

Таким образом, в течение раннего (D_1e_2–D_2ef_1) цикла вулканизма под воздействием погружающегося на восток слэба сформировалась широтная зональность Магнитогорской мегазоны (см. рис. 8).

Наряду с широтной палеовулканической и металлогенической зональностью имеет место и продольная меридиональная зональность, наиболее ярко проявившаяся в Тубинско-Гайском поясе.

Здесь она выражена в уменьшении общих запасов руд с юга на север от Гайского суперкрупного месторождения к Бурибай-Маканскому и далее к Баймакскому району с большим количеством мелких объектов. Эта закономерность связана с изменением состава коры, увеличением мощности гранитно-метаморфического слоя с юга на север за счет уменьшения мощности нижней базальтовой коры [Серавкин, Цветкова, 1986] (рис. 9).

Изменение состава и строения коры, вероятно, сопровождалось и изменением угла наклона слэба, от наиболее крутого на юге зоны до пологого в ее северной части, что способствовало рассредоточению оруденения (рис. 10).

Критерии колчеданоносности

Рассмотренные закономерности позволяют сформулировать критерии колчеданоносности. К формационным критериям относится известная связь оруденения с дифференцированными формациями (контрастной и непрерывной). Авторами установлено, что продуктивность комплексов прямо коррелируется с проявлением в них толеитовых тенденций (рис. 11). Таким образом, структурно-палеовулканические (широтная и меридиональная зональность поясов), петролого-геохимические (сериальная принадлежность рудоносных комплексов) факторы тесно взаимосвязаны и служат критериями колчеданоносности (см. рис. 11). Конкретным геохимическим критерием, впервые сформулированным в последний период, является увеличение в базальтах рудоносных комплексов отношения Na_2O/K_2O и уменьшение содержаний TiO_2, Zr, РЗЭ и отношения La/Yb.

Заключение

В результате исследований, проведенных в последнее время в Тубинско-Гайском поясе, получены новые петро-геохимические данные, позволившие уточнить ранее разработанную авторами сериальную принадлежность всех колчеданоносных комплексов Магнитогорской мегазоны

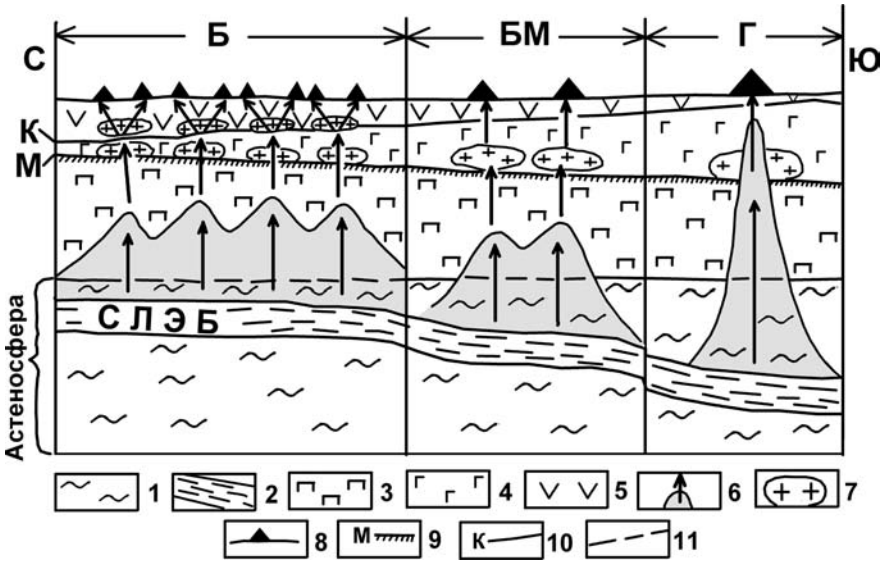


Рис. 9. Модель формирования продольной зональности колчеданоносного пояса (на примере Тубинско-Гайского пояса), вертикальный масштаб искажен

Условные обозначения: 1 — астеносфера, 2 — погружающийся слэб, 3 — верхняя мантия (перидотиты), 4 — нижняя кора (гранулито-базитовый слой), 5 — верхняя кора (гранитно-метаморфический слой), 6 — мантийные диапиры и пути подъема магм и гидротермальных растворов, 7 — очаги базальтовых и кислых магм, 8 — рудоносные вулканические постройки, 9 — граница Мохоровичича, 10 — раздел Конрада, 11 — верхняя граница астеносферы. **Поперечные блоки (и рудные районы):** Б — Баймакский, БМ — Бурибай-Маканский, Г — Гайский.

Fig. 9. Model of the formation of longitudinal zonation of the massive sulphide-bearing belt (at the example of the Tubinsk-Gai belt), the vertical scale is distorted

Legend: 1 — asthenosphere, 2 — submerged slab, 3 — upper mantle (peridotites), 4 — lower crust (granulite-basite layer), 5 — upper crust (granite-metamorphic layer), 6 — mantle diapirs and ways of lifting magmas and hydrothermal solutions, 7 — foci of bazaltic and acidic magmas, 8 — ore-bearing volcanic structures, 9 — Mohorovichich boundary, 10 — Conrad section, 11 — upper boundary of the asthenosphere. **Transverse blocks (and ore areas):** Б — Baymak, БМ — Buribai-Makan, Г — Gai.

Южного Урала и впервые определить сериальную принадлежность кремнекислых пород этих комплексов.

Важное научное и практическое значение имеет разработка ранее предложенной авторами оригинальной модели субдукционного развития вулканизма и колчеданообразования Магнитогорской мегазоны. Эта модель определяет широтную зональность Магнитогорской мегазоны в результате восточного погружения слэба. В течение 2 циклов вулканизма были сформированы следующие комплексы: I — в период D_1e_2–D_2ef_1 (с запада на восток): 1) ультрабазит-базальт-риолитовый, зоны ГУР, с оруденением ивановского типа (Ni-Co-Cu), 2) базальт-риолитовый и базальт-андезит-риолитовый, фронтальной островной дуги, с оруденением уральского (Cu-Zn) и баймакского (Au-Ba-Pb-Cu-Zn) типов, 3) базальт-андезибазальтовый, развитой островной дуги, рудоносной в южной части в гибридном дифференцированном

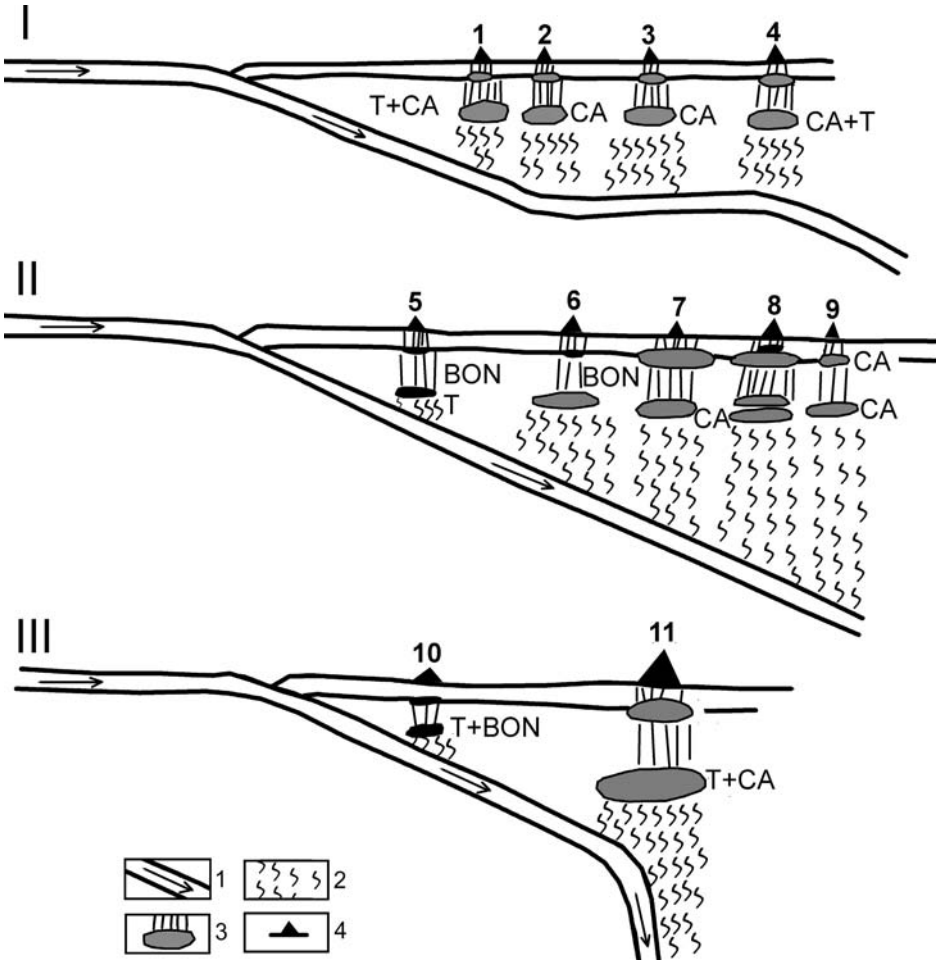


Рис. 10. Модель геодинамического развития рудных районов Тубинско-Гайского палеовулканического пояса на позднеэмсско-раннеэйфельском этапе

Условные обозначения: 1 — погружающийся слэб, 2 — потоки субдукционных флюидов, 3 — очаги магмообразования, 4 — рудоносные вулканические постройки. **Петрогенетические серии:** T — толеитовая островодужная, BON — бонинитовая, CA — известково-щелочная. **Рудные районы:** I — Баймакский, II — Бурибай-Макан-Подольский, III — Гайский. **Месторождения:** 1 — Бакр-тау, 2 — Таш-тау, 3 — Юлалы, 4 — Балта-тау, 5 — Дергамышское, 6 — Бурибай, 7 — Макан, 8 — Подольское, 9 — Восточно-Подольское, 10 — Ишкининское, 11 — Гайское.

Fig. 10. Model of geodynamic development of ore areas of the Tubinsk-Gai Paleovolcanic belt at the Late Emsian – Early Eifelian stage

Legend: 1 — submerged slab, 2 — flows of subduction fluids, 3 — foci of magma formation, 4 — ore-bearing volcanic structures. **Petrogenetic series:** T — tholeiitic island arc, BON — boninitic, CA — calc-alkaline. **Ore regions:** I — Baimak, II — Buribai-Makan-Podolsk, III — Gai. **Deposits:** 1 — Bakr-tau, 2 — Tash-tau, 3 — Yulaly, 4 — Balta-tau, 5 — Dergamysh, 6 — Buribay, 7 — Makan, 8 — Podolsk, 9 — East Podolsk, 10 — Ishkinino, 11 — Gai.

№№ пп	Рудовмещающие комплексы	Возраст	Формация	Петрохимическая серия	Тип оруденения	Запасы в вулканических комплексах Cu+Zn в тыс. т [Рудно-формационный..., 2001]
1	Ивановский	D_1e	У+Б-Р	ДГ+Т-БОН	Co-Cu	80
2	Бурибайский	$D_1e_2^1$	Б-Р	Т-БОН-ИЩ	Cu>Zn	2810
3	Баймакский	$D_1e_2^2$	Б-А-Д-Р	ИЩ	Zn>Cu+Au	1047
4	Маканский	$D_1e_2^2$	Б-А-Д-Р	ИЩ-ТОД	Cu>Zn	700
5	Гайский	D_1e_2	Б-Р, Б-А-Д-Р	ИЩ-ТОД-БОН ?	Cu>Zn	10041
6	Подольский	$D_2ef_1^1$	Б-Р,Б-А-Д-Р (*г*)	ТОД-ПИЩ	Cu>Zn	3070
7	Джусинский	D_2ef_1	Б-А-Д-Р	ШОШ-ИЩ	Zn-Cu-Pb	657
8	Восточно-Подольский	$D_2ef_1^2$	ТД-Р	ПИЩ-ШОШ	Zn-Cu-Pb	164
9	Домбаровский	D_1e_2	Б	ТО	Cu	1372
10	Учалинский	$D_2ef_2^1$	Б-Р	ТОД	Zn>Cu	9542
11	Сибайский	$D_2ef_2^2$	Б-Р	ТОД	Zn>Cu	2927
12	Верхнеуральский	$D_2ef_2^2$-zv_1	Б-А-Д-Р	ПТОД-ИЩ	Zn>Cu+Pb	6900
13	Александринский	D_2ef_2	Б-Р	ТОД-ИЩ-СЩ	Zn-Cu-Pb	559

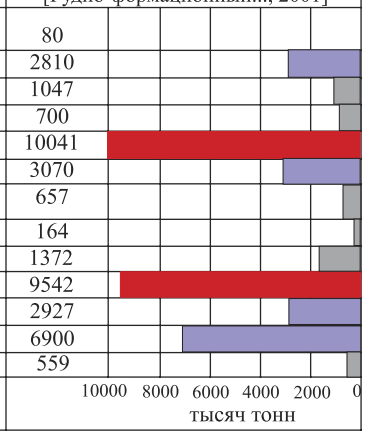


Рис. 11. Рудовмещающие комплексы и колчеданное оруденение Магнитогорской мегазоны Южного Урала

Сокращенные названия, формации: У — ультрабазитовая, Б-Р — базальт-риолитовая, Б-А-Д-Р — базальт-андезит-дацит-риолитовая, (г) — гибридная, ТД-Р — трахидацит-риолитовая, Б — базальтовая. **Петрохимические серии:** ДГ — дунит-гарцбургитовая, Т — толеитовая, БОН — бонинитовая, ИЩ — известково-щелочная, ТОД — толеитовая островодужная, ПИЩ — переходная от известково-щелочной к шошонитовой, ШОШ — шошонитовая, ТО — толеитовая океаническая, ПТОД — переходная от толеитовой островодужной к известково-щелочной, СЩ — субщелочная.

Fig. 11. Ore-bearing complexes and pyrite mineralization of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals

Abbreviated names, formations: У — ultrabasic, Б-Р — basalt-rhyolite, Б-А-Д-Р — basalt-andesite-dacite-rhyolite, (г) — hybrid, ТД-Р — trachydacite-rhyolite, Б — basalt. **Petrochemical series:** ДГ — dunite-harzburgitic, Т — tholeiitic, БОН — boninitic, ИЩ — calc-alkaline, ТОД — tholeiite island-arc, ПИЩ — transitional from calc-alkaline to shoshonite, ШОШ —shoshonite, ТО — tholeiitic oceanic, ПТОД — transitional from tholeiite island-arc to calc-alkaline, СЩ — subalkaline.

комплексе, с оруденением уральского типа (Cu-Zn), 4) базальт-андезит-риолитовые тыловой островной дуги, с оруденением полиметаллического (Ba-Pb-Zn-Cu) типа, 5) базальтовый, задугового спрединга, с оруденением медноколчеданного типа; II — во втором цикле (D_2ef_2–D_3f) в результате рифтогенеза и спрединга произошел разрыв островной дуги и сформировались базальт-риолитовые комплексы с оруденением уральского типа (с преобладанием Zn над Cu) и более поздние комплексы базальт-андезит-риолитового состава с Zn-Cu оруденением, переходным к полиметаллическому.

Установленные закономерности изменения состава рудовмещающих комплексов, состава и объемов колчеданного оруденения позволили сформулировать критерии колчеданоносности, применение которых должно способствовать эффективности поисков новых месторождений. Основные критерии следующие.

1. Наиболее продуктивны на колчеданные руды вулканогенные дифференцированные комплексы с широким развитием толеитовых базальтов.

2. Продуктивность дифференцированных вулканогенных комплексов повышается с ростом Na_2O/K_2O отношения и уменьшением содержаний TiO_2, Zr, РЗЭ и отношения La/Yb в базальтах.

Работа выполнена в соответствии с госзаказом № 0252-2017-0011.

Список литературы:

Аржавитина М.Ю. Петрографическая и петрохимическая характеристика пород Юбилейного месторождения // Петрология горных пород, вмещающих сульфидные месторождения Южного Урала. – Уфа, 1971. – С. 43–53.

Арт Дж.Г. Некоторые элементы-примеси в трондьемитах — их значение для выяснения генезиса магмы и палеотектонических условий // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – С. 99–105.

Бородаевская М.Б., Кривцов А.И., Ширай Е.П. Изменения раннегеосинклинального вулканизма по латерали в связи с проблемой колчеданоносности // Латеральные ряды магматических формаций. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. – С. 22–44.

Вулканизм Южного Урала / *И.Б. Серавкин, А.М. Косарев, Д.Н. Салихов, С.Е. Знаменский, З.И. Родичева, М.В. Рыкус, В.И. Сначев*. – М.: Наука, 1992. – 197 с.

Вулканогенная металлогения Южного Урала / *И.Б. Серавкин, С.Е. Знаменский, А.М. Косарев, М.В. Рыкус, Д.Н. Салихов, В.И. Сначев, В.М. Мосейчук*. – М.: Наука, 1994. – 160 с.

Колчеданные месторождения Баймакского рудного района / *П.Ф. Сопко, М.И. Исмагилов, И.Б. Серавкин, Л.Н. Сопко*. – М.: Наука, 1973. – 224 с.

Косарев А.М. Магнезиальные базальты и бонинитовые вариолиты баймак-бурибаевской свиты (Южный Урал) // Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий. – Уфа, 2001. – Т. 1. – С. 227–240.

Косарев А.М. Геология и геохимические особенности раннепалеозойских вулканитов Сакмарской и Вознесенско-Присакмарской зон на Южном Урале // Литосфера. – 2015. – № 2. – С. 40–64.

Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. – 2005. – № 4. – С. 22–42.

Косарев А.М., Серавкин И.Б. Колчеданоносные островные дуги Южного Урала и модель малоглубинных плюмов // Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит: Тез. докл. I Всерос. металлоген. совещ. – Екатеринбург, 1994. – С. 197–198.

Косарев А.М., Серавкин И.Б. Колчеданообразующие рудно-магматические системы Уральского, Баймакского и Домбаровского типов на Южном Урале: петролого-геохимические и геодинамические аспекты // Магматизм и рудообразование: Матер. конф., посвященной 125-летию со дня рождения акад. А.Н. Заварицкого. – М.: ИГЕМ РАН, 2009. – С. 207–211.

Косарев А.М., Серавкин И.Б., Холоднов В.В. Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности Магнитогорской колчеданоносной мегазоны на Южном Урале // Литосфера. – 2014. – № 2. – С. 3–25.

Кузьмин М.И., Кабанова Л.Я. Бонинитовые серии Южного Урала: геологическое и петрографическое описание, особенности состава и проблемы происхождения // Потенциальная рудоносность, геохимические типы и формации магматических пород. – Новосибирск: Наука, 1991. – С. 156–173.

Малпас Дж. Две контрастирующие трондьемитовые ассоциации из перемещенных офиолитов в западном Ньюфаундленде: первое сообщение // Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред. Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – С. 339–353.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.

Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей / *Под ред. О.А. Богатикова, Ю.И. Дмитриева, А.А. Цветкова*. – М.: Наука, 1987. – 335 с.

Прокин В.А., Буслаев Ф.П., Виноградов А.М., Молошаг В.П., Кузнецов С.И. Гайский ГОК; Геология Гайского и Подольского медно-цинковых колчеданных месторождений на Урале. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. – 148 с.

Рингвуд А.Е. Состав и петрология мантии Земли. – М.: Недра, 1981. – 584 с.

Рудно-формационный и рудно-фациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана / *В.В. Зайков, В.В. Масленников, Е.В. Зайкова, Р. Херрингтон*. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. – 315 с.

Серавкин И.Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Южного Урала. – М.: Наука, 1986. – 268 с.

Серавкин И.Б. Вулканогенные колчеданные месторождения Южного Урала // Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование: Сборник науч. трудов. – Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. – С. 638–669.

Серавкин И.Б. Металлогения Южного Урала и Центрального Казахстана. – Уфа: Гилем, 2010. – 284 с.

Серавкин И.Б., Косарев А.М. О происхождении контрастных и непрерывных серий базальт-липаритовой формации Южного Урала // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 245, № 5. – С. 1210–1214.

Серавкин И.Б., Косарев А.М. Палеовулканическая история формирования Подольского рудного поля и месторождения (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. – 1983. – Т. 25, № 5. – С. 72–86.

Серавкин И.Б., Косарев А.М., Пучков В.Н. Геодинамические условия формирования колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала и критерии для их поисков // Геология рудных месторождений. – 2017. – Т. 59, № 3. – С. 220–237. – doi.org/10.7868/s0016777017030054

Серавкин И.Б., Скуратов В.Н. Гайское медноколчеданное месторождение: структура, зональность и распределение золота и серебра в рудах // Литосфера. – 2009. – № 4. – С. 66–82.

Серавкин И.Б., Цветкова А.А. Типы колчеданоносных районов Магнитогорского мегасинклинория в связи с его глубинным строением // Глубинные условия эндогенного рудообразования / *Отв. ред. акад. В.И. Смирнов*. – М.: Наука, 1986. – С. 157–172.

Симонов В.А., Золотухин В.В., Ковязин С.В., Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. Петрогенезис базальтовых серий подводного плато Онтонг Джава-Науру, Тихий океан // Петрология. – 2004. – Т. 12, № 2. – С. 191–205.

Среднепалеозойский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения / *П.Ф. Сопко, И.Б. Серавкин, А.С. Бобохов, А.М. Косарев*. – Уфа: БФАН СССР, 1983. – 116 с.

Трондьемиты, дациты и связанные с ними породы / *Под ред. Ф. Баркера*. – М.: Мир, 1983. – 488 с.

Chistyakova S.Yu., Latypov R.M. Small Dacite Dyke, Southern Urals, Russia: Rapidy Quenched Liquid or Fine-Grained Cumulate? // Dyke Swarms: Keys for Geodynamic Interpretation. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011. – P. 569–581. – doi.org/10.1007/978-3-642-12496-9_29.

Pearce J.A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins // Continental basalts and mantle xenolithes / *C.J. Hawkesworth, M.J. Norry (eds.)* – Shiva. Nantwich, 1983. – P. 230–249.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks // Jornal of Petrology. – 1984. – V. 25, No. 4. – P. 956–983. – doi.org/10.1093/petrology/25.4.956.

Spadea P., Kabanova L., Scarrow J.H. Petrology, geochemistry and geodynamic significance of Mid-Devonian boninitic rocks from the Baimak-Buribai area (Magnitogorsk zone, Southern Urals) // Ofioliti. – 1998. – V. 23, No. 1. – P. 17–36.

Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D. Arc-Continent Collision in the Southern Urals: Petro-

genetic Aspects of the Forearc-Arc Complex // Mountain building in the Uralides: Pangea to the present. – Geophysical Monograph, 132. – Washington, 2002. – P. 101–134. – doi.org/10.1029/132gm07.

References:

Arzhavitina M.Yu. Petrograficheskaya i petrohimicheskaya kharakteristika porod Yubileinogo mestorozhdeniya [Petrographic and petrochemical characteristics of the rocks of the Jubileynoe deposit] // Petrologiya gornyh porod, vmeshchayushchih sul'fidnye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala. Ufa, 1971. P. 43–53 (in Russian).

Art Dzh. G. Nekotorye elementy-primesi v trond'emitah – ih znachenie dlya vyyasneniya genezisa magmy i paleotektonicheskikh uslovii [Some impurity elements in trondhjemites and their significance for elucidating the genesis of magma and paleotectonic conditions] // Trond'emity, datsity i svyazannye s nimi porody / *Ed. F. Barker*. M.: Mir, 1983. P. 99–105 (in Russian).

Borodaevskaya M.B., Krivtsov A.I., Shirai E.P. Izmeneniya rannegeosinklinal'nogo vulkanizma po laterali v svyazi s problemoi kolchedanonosnosti [Lateral changes in early geosynclinal volcanism in connection with the problem of massive sulfide ore productivity] // Lateral'nye ryady magmaticheskih formatsii. Sverdlovsk: UNTS AN SSSR, 1979. P. 22–44 (in Russian).

Chistyakova S.Yu., Latypov R.M. Small Dacite Dyke, Southern Urals, Russia: Rapidy Quenched Liquid or Fine-Grained Cumulate? // Dyke Swarms: Keys for Geodynamic Interpretation. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011. – P. 569–581. – doi.org/10.1007/978-3-642-12496-9_29.

Kolchedannye mestorozhdeniya Baimakskogo rudnogo raiona [The massive sulfide deposits of the Baimak ore district] / *P.F. Sopko, M.I. Ismagilov, I.B. Seravkin, L.N. Sopko*. M.: Nauka, 1973. 224 p. (in Russian).

Kosarev A.M. Magnezial'nye bazal'ty i boninitovye variolity baimak-buribaevskoi svity (Yuzhnyi Ural) [Magnesian basalts and boninite variolites of the Bymak-Buribay Formation (Southern Urals)] // Geologiya i perspektivy rasshireniya syr'evoi bazy Bashkortostana i sopredel'nyh territorii. Ufa, 2001. V. 1. P. 227–240 (in Russian).

Kosarev A.M. Geologiya i geokhimicheskie osobennosti rannepaleozoiskikh vulkanitov Sakmarskoi i Voznesensko-Prisakmarskoi zon na Yuzhnom Urale [Geology and geochemical features of the Early Paleozoic volcanics of the Sakmara and Voznesensk-Prisakmar zones in the Southern Urals] // Litosfera. 2015. No. 2. P. 40–64 (in Russian).

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. Petrologo-geohimicheskie osobennosti rannedevonsko-eifel'skih ostrovoduzhnyh vulkanitov Magnitogorskoi zony v geodinamicheskom kontekste [Petrologico-geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island arc volcanics of the Magnitogorsk zone in the geodynamic context] // Litosfera. 2005. No. 4. P. 22–42 (in Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B. Kolchedanonosnye ostrovnye dugi Yuzhnogo Urala i model' maloglubinnykh plyumov [The massive sulfide-bearing island arcs of the Southern Urals and the shallow plume model] // Metallogeniya skladchatykh sistem s pozitsii tektoniki plit: Tez. dokl. I Vseros. Metallog. soveshch. Ekaterinburg, 1994. P. 197–198 (in Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B. Kolchedanoobrazuyushchie rudno-magmaticheskie sistemy Ural'skogo, Baimakskogo i Dombarovskogo tipov na Yuzhnom Urale: petrologo-geokhimicheskie i geodinamicheskie aspekty [The massive sulfide pyrite-forming ore-magmatic systems of the Ural, Baimak and Dombarov types in the Southern Urals: petrologic-geochemical and geodynamic aspects] // Magmatizm i rudoobrazovanie: Mat. konf., posvyashchennoi 125-letiyu so dnya rozhdeniya akad. A.N. Zavaritskogo. M.: IGEM RAN, 2009. P. 207–211 (in Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B., Kholodnov V.V. Geodinamicheskie i petrologo-geokhimicheskie aspekty zonal'nosti Magnitogorskoi kolchedanonosnoi megazony na Yuzhnom Urale [Geodynamic and petrological-geochemical aspects of the zonation of the Magnitogorsk massive sulfide-bearing megazone in the Southern Urals] // Litosfera. 2014. No. 2. P. 3–25 (in Russian).

Kuz'min M.I., Kabanova L.Ya. Boninitovye serii Yuzhnogo Urala: geologicheskoe i petrograficheskoe opisanie, osobennosti sostava i problemy proiskhozhdeniya [Boninite series of the Southern Urals: geological and petrographic description, problems of composition and origin] // Potentsial'naya rudonosnost', geokhimicheskie tipy i formatsii magmaticheskih porod. Novosibirsk: Nauka, 1991. P. 156–173 (in Russian).

Malpas Dzh. Dve kontrastiruyushchie trond'emitovye assotsiatsii iz peremeshchennyh ofiolitov v zapadnom N'yufaundlende: pervoe soobshchenie [Two contrasting trondhjemite associations from displaced ophiolites in western Newfoundland: the first report] // Trond'emity, dacity i svyazannye s nimi porody / *Ed. F. Barker*. M.: Mir, 1983. P. 339–353 (in Russian).

Pearce J.A. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins // Continental basalts and mantle xenolithes / *C.J. Hawkesworth, M.J. Norry (eds.)* – Shiva. Nantwich, 1983. – P. 230–249.

Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks // Jornal of Petrology. – 1984. – V. 25, No. 4. – P. 956–983. – doi.org/10.1093/petrology/25.4.956.

Petrograficheskii kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya [Petrographic Code of Russia. Magmatic, metamorphic, metasomatic, impact formation]. SPb.: VSEGEI, 2008. 200 p. (in Russian).

Petrologiya i geohimiya ostrovnyh dug i okrainnykh morei [Petrology and geochemistry of island arcs and marginal seas] / *Eds. O.A. Bogatikov, Yu.I. Dmitriev, A.A. Tsvetkov*. M.: Nauka, 1987. 335 p. (in Russian).

Prokin V.A., Buslaev F.P., Vinogradov A.M., Moloshag V.P., Kuznetsov S.I. Gaiskii GOK; Geologiya Gaiskogo i Podol'skogo medno-tsinkovyh kolchedannyh mestorozhdenii na Urale [Gaisky GOK; Geology of Gai and Podolsk copper-zinc massive sulfide deposits in the Urals]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 2004. 148 p. (in Russian).

Ringvud A.E. Sostav i petrologiya mantii Zemli [Composition and petrology of the Earth's mantle]. M.: Nedra, 1981. 584 p. (in Russian).

Rudno-formatsionnyi i rudno-fatsial'nyi analiz kolchedannyh mestorozhdenii Ural'skogo paleookeana [Ore-formation and ore-facies analysis of massive sulfide deposits of the Uralian paleoocean] / *V.V. Zaikov, V.V. Maslennikov, E.V. Zaikova, R. Herrington*. Miass: IMin UrO RAN, 2001. 315 p. (in Russian).

Seravkin I.B. Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanism and massive sulfide deposits of the Southern Urals]. M.: Nauka, 1986. 268 p. (in Russian).

Seravkin I.B. Vulkanogennye kolchedannye mestorozhdeniya Yuzhnogo Urala [Volcanogenic massive sulfide deposits of the Southern Urals] // Geodinamika, magmatizm, metamorfizm

i rudoobrazovanie: Sbornik nauch. trudov. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 2007. P. 638–669 (in Russian).

Seravkin I.B. Metallogeniya Yuzhnogo Urala i Central'nogo Kazakhstana [Metallogeny of the Southern Urals and Central Kazakhstan]. Ufa: Gilem, 2010. 284 p. (in Russian).

Seravkin I.B., Kosarev A.M. O proiskhozhdenii kontrastnyh i nepreryvnyh serii bazal't-liparitovoi formatsii Yuzhnogo Urala [On the origin of contrasting and continuous series of the basalt-rhyolite formation of the Southern Urals] // Dokl. AN SSSR. 1979. V. 245, No. 5. P. 1210–1214 (in Russian).

Seravkin I.B., Kosarev A.M. Paleovulkanicheskaya istoriya formirovaniya Podol'skogo rudnogo polya i mestorozhdeniya (Yuzhnyi Ural) [Paleovolcanic history of formation of the Podolsk ore field and deposit (Southern Ural)] // Geologiya rudnykh mestorozhdenii. 1983. V. 25, No. 5. P. 72–86 (in Russian).

Seravkin I.B., Kosarev A.M., Puchkov V.N. Geodynamic conditions of formation of massive sulfide deposits in the Magnitogorsk Megazone, Southern Urals, and prospection criteria // Geology of Ore Deposits. 2017. V. 59, No. 3. P. 227–243. – doi.org/10.1134/s1075701517030059.

Seravkin I.B., Skuratov V.N. Gaiskoe mednokolchedannoe mestorozhdenie: struktura, zonal'nost' i raspredelenie zolota i serebra v rudah [Gai copper-massive sulfide deposit: structure, zoning and distribution of gold and silver in ores] // Litosfera. 2009. No. 4. P. 66–82 (in Russian).

Seravkin I.B., Tsvetkova A.A. Tipy kolchedanonosnyh raionov Magnitogorskogo megasinklinoriya v svyazi s ego glubinnym stroeniem [Types of the massive sulfide-bearing regions of the Magnitogorsk megasinclonorium in connection with its deep structure] // Glubinnye usloviya endogennogo rudoobrazovaniya / *Ed. V.I. Smirnov*. M.: Nauka, 1986. P. 157–172 (in Russian).

Simonov V.A., Zolotukhin V.V., Kovyazin S.V., Al'mukhamedov A.I., Medvedev A.Ya. Petrogenesis of Basaltic Series of the Ontong Java Oceanic Plateau and the Nauru Basin, Pacific Ocean // Petrology. 2004. V. 12, No. 2. P. 163–175 (in Russian).

Spadea P., Kabanova L., Scarrow J.H. Petrology, geochemistry and geodynamic significance of Mid-Devonian boninitic rocks from the Baimak-Buribai area (Magnitogorsk zone, Southern Urals) // Ofioliti. – 1998. – V. 23, No. 1. – P. 17–36.

Spadea P., D'Antonio M., Kosarev A., Gorozhanina Y., Brown D. Arc-Continent Collision in the Southern Urals: Petrogenetic Aspects of the Forearc-Arc Complex // Mountain building in the Uralides: Pangea to the present. – Geophysical Monograph, 132. – Washington, 2002. – P. 101–134. – doi.org/10.1029/132gm07.

Srednepaleozoiskii vulkanizm Bashkirskogo Zaural'ya i svyaz' s nim kolchedannogo orudeneniya [The Middle Paleozoic volcanism of the Bashkirian Trans-Urals and its connection with massive sulfide mineralization] / *P.F. Sopko, I.B. Seravkin, A.S. Bobohov, A.M. Kosarev*. Ufa: BFAN SSSR, 1983. 116 p. (in Russian).

Trond'emity, dacity i svyazannye s nimi porody [Trondhjemites, dacites and associated rock types] / *Ed. F. Barker*. M.: Mir, 1983. 488 p. (in Russian).

Vulkanizm Yuzhnogo Urala [Volcanism of the Southern Urals] / *I.B. Seravkin, A.M. Kosarev, D.N. Salikhov, S.E. Znamenskiy, Z.I. Rodicheva, M.V. Rykus, V.I. Snachov*. M.: Nauka, 1992. 197 p. (in Russian).

Vulkanogennaya metallogeniya Yuzhnogo Urala [Volcanogenic metallogeny of the Southern Urals] / *I.B. Seravkin, S.E. Znamenskiy, A.M. Kosarev, M.V. Rykus, D.N. Salikhov, V.I. Snachov, V.M. Moseychuk*. M.: Nauka, 1994. 160 p. (in Russian).

Сведения об авторах:

Косарев Александр Михайлович, канд. геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). E-mail: amkosarev@mail.ru

Серавкин Игорь Борисович, д-р геол.-мин. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). E-mail: seravkin@ufaras.ru

About the autors:

Kosarev Aleksandr Mikhailovich, 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: amkosarev@mail.ru

Seravkin Igor Borisovich, 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: seravkin@ufaras.ru

УДК 553.411.071+903+902.03 DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-4

К ИСТОРИИ ДОБЫЧИ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА, О НЕКОТОРЫХ АРТЕФАКТАХ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАСШИРЕНИЯ БАИШЕВСКОГО АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© 2018 г. П. В. Казаков

Реферат. Наряду с информацией по истории добычи россыпного золота, найденных при этом различных артефактах, новейших данных о возрасте озерных комплексов и палеоклиматических условий их формирования приведена характеристика россыпного золота Шуралинского россыпного поля, в пределах которого расположен Баишевский археологический микрорайон. Перспективы расширения Баишевского археологического микрорайона и соответственно Историко-археологического и ландшафтного музея-заповедника «Ирендык» связываются с обнаружением у с. Карышкино отмершего (сухого) озера, названного автором «Сагылкуль».
Ключевые слова: золото, россыпь, Баишевский археологический микрорайон, артефакты, четвертичные озерные отложения, Южный Урал

ON THE HISTORY OF THE PRODUCTION OF PLACER GOLD, SOME ARTIFACTS, AND THE PERSPECTIVES OF EXPANSION OF THE BAISHEV ARCHAEOLOGICAL MICRODISTRICT (SOUTH URAL)

P. V. Kazakov

Abstract. Along with the information on the history of placer gold mining, various artifacts found at the same time, the latest data on the age of the lake complexes and the paleo-climatic conditions of their formation, a characteristic of the alluvial gold of the Shuralinsky alluvial field within which the Baishevsky archaeological micro-district is given. Prospects for the expansion of the Baishevsky archaeological microdistrict and, accordingly, the Historical and Archaeological and Landscape Museum-Reserve «Irendyk» are associated with the discovery in the village of Karyshkin, of a dead (dry) lake, called «Sagylkul» by the author.
Keywords: gold, placer, Baishevsky archeological microdistrict, artifacts, Quarternary lake deposits, Southern Urals

Введение

Территория исследований находится на восточном склоне Южного Урала, на южном замыкании хребта Ирендык и его юго-восточных отрогов. Геоморфологически она располагается в зоне перехода остаточных гор Южного Урала к приподнятому Зауральскому пенеплену, административно — в Баймакском районе Республики Башкортостан, в юго-восточной зоне Башкирского Зауралья (рис. 1).

Основными объектами исследований были россыпные месторождения золота бассейна верхнего течения р. Бол. Уртазымки. В задачу входило

Для цитирования: Казаков П.В. К истории добычи россыпного золота, о некоторых артефактах и перспективах расширения Баишевского археологического микрорайона (Южный Урал) // Геологический вестник. 2018. № 2. С. 58–67. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-4.

For citation: Kazakov P.V. On the history of the production of placer gold, some artifacts, and the perspectives of expansion of the Baishev archaeologic al microdistrict (South Ural) // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 58–67. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-4.

раскрытие условий формирования россыпей, в том числе палеогеоморфологических, на основе изучения их геоморфологической позиции, особенностей вещественного состава вмещающих отложений, характера залегания продуктивного пласта и морфологии золота.

Было проведено маршрутное обследование россыпных месторождений правых притоков реки Бол. Уртазымки (Шурале, Безымянный II, Улак). В средней части долины ее левого притока, р. Сагылкуль, за пределами россыпного поля, было обнаружено и обследовано пра-озеро Сагылкуль (название автора). В юго-восточной части пра-озера вблизи места прорыва и спуска воды обнаружены озерные береговые валы.

На территории Шуралинского россыпного поля расположен так называемый Баишевский археологический микрорайон (БАМ). Автор предполагает, что наиболее вероятным местоположением стоянки человека на пра-озере могла быть террасовидная площадка на его северо-восточном берегу в районе с. Карышкино, расположенная с заветренной стороны юго-восточного отрога хребта Ирендык.

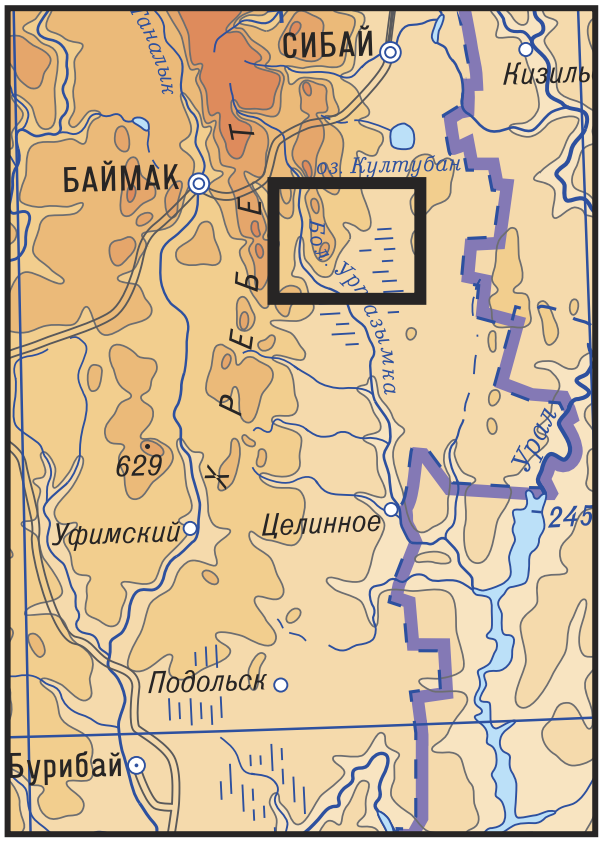


Рис. 1. Схема расположения территории исследований (показана черным прямоугольником)

Fig. 1. Layout chart of the territory of research (black rectangle)

К истории древнейшей добычи золота

История добычи россыпного золота неразрывно связана с историей развития древних цивилизаций. Об этом свидетельствует наряду с добычей меди, железа и колоссальное количество золота, добытое в древнейшие исторические времена.

Достоверно известно [Локерман, 1978], что еще в середине V тысячелетия до н. э. труд множества рабов использовался для добычи золота в долинах Белого и Голубого Нила. Пески этих рек на всем протяжении были золотоносны. Имеются данные о том, что содержание золота в 10-метровой толще аллювиальных отложений достигало 80 г/т.

При разработке песков Нубийской и Аравийской пустынь, по-видимому, начавшейся еще раньше, от провеивания песков постепенно перешли также к их промывке. Этому способствовало начало периода неолитических дождей. За два тысячелетия пустыни превратились в саванны с полноводными реками.

С III тысячелетия до н.э. разработка россыпей также велась на территории Южной и Западной Африки. Надпись на стеле, найденной в Аравийской пустыне, свидетельствует о том, что уже производилась не только промывка песков, но и разработка «голов» коренных жил, где кварц сильно трещиноват.

В Азии, начиная с III тысячелетия до н.э., добыча золота производилась из месторождений Мадрассы, Малаккского полуострова, Тибета. В Китае во II тысячелетии до н.э. уже добывали россыпное золото и чеканили золотую монету. Позднее, в I тысячелетии до н.э., началось освоение россыпей Белуджистана, Кашгарии, Западной Сибири, Приамурья, Средней и Малой Азии.

По словам А. Гумбольдта [1830], отработанные золотоносные россыпи как бы обозначают границы цивилизации. Когда-то самый центр ее — Западная Европа была страной золотых приисков, крупнейшим золотодобывающим районом мира. Племена, обитавшие на Балканах, вели разработку россыпей уже в VI в. до н.э., золотые рудники в IV в. до н.э. являлись основой могущества Македонии. В Боснии и Герцеговине россыпи были основательно отработаны уже в IV в. до н.э., а в Далмации — на несколько веков раньше.

По данным историков и археологов, древняя золотодобыча развивалась на всех континентах, за исключением Австралии. Первостепенная роль отводилась россыпям. Традиционный способ их разработки упоминается еще в древнегреческом мифе о походе аргонавтов в Колхиду за золотым руном. Более достоверные сведения о технологии древней золотодобычи сохранились в виде древних выработок, примитивных приспособлений и инструментов. Пески промывались вручную, в чашах и на желобах, покрытых звериными шкурами.

Для улавливания мелкого и тонкого золота римляне впервые применили металлические желоба с ртутным покрытием, производили грандиозные подкопы и обрушения террасовых речных отложений, размывали породу из искусственных запруд водой под большим давлением.

Известный немецкий исследователь Г. Квиринг, автор монографии по истории золота [Quring, 1948], сопоставив все имеющиеся данные историков, археологов, экономистов, геологов и других специалистов, пришел к выводу о распределении объемов добычи золота по эпохам и континентам (в тоннах), приведенному в таблице.

Как видно, периоды древней истории, получившие названия согласно наиболее широко применявшимся в быту полезным ископаемым: камню, железу и меди, были в то же время и эпохами золота.

За историю человечества до середины XIX в. количество добытого золота определяют в 70 тыс. т. Из них объем добычи в древние века составил колоссальную цифру — почти 15%.

К истории добычи золота на Урале

На Урале начало добычи золота относится к первой половине II тысячелетия до н.э. (андроновский этап бронзового века 2000–1500 лет до н.э.). Первые изделия из золота и серебра этого периода изредка сопровождаются орудиями и украшениями из меди и бронзы [Зайков и др., 2012].

По имеющимся сведениям трудно определить, осуществлялась ли добыча уральского золота непрерывно в течение всего указанного выше периода, охватывающего в общей сложности почти 3000 лет, или она приурочена была лишь к определенным этапам исторического развития региона [Иессен, 1948].

Еще Аристей из Прокониса в VI в. до н.э., а век спустя Геродот в «Истории», посвященной греко-персидским войнам, сообщали, что далеко на северо-востоке, за степями скифской равнины, на рубеже Европы и Азии высятся Рифейские горы, где «несомненно находится золото в огромных количествах». По рассказам эллинов, побывавших севернее Черного моря, они увидели у туземцев-скифов, кочующих от моря до Рифейских гор, множество красивых изделий из чистого золота, ими украшали даже упряжь лошадей.

Сообщенные Аристеем, Геродотом, Дионисием сведения о рифейском золоте стали известны Ивану III, вероятно, из первоисточников — его жена Софья Палеолог, племянница последнего императора Византии Константина, имела огромную библиотеку и стремилась помочь мужу в делах [Локерман, 1978].

В 1491 г. в Северное Приуралье были посланы искать руды немцы Иван да Виктор, «...а с ними Андрюшка Петров, да Василь, Иванов сын, Болотин...». Они сообщили, что нашли руду серебряную и медную. Впоследствии Н.М. Карамзин в «Истории Государства Российского» сообщает, что открытие руд на р. Цильме «...сделало государю величайшее удовольствие...» и что с этого времени «...мы начали сами добывать, плавить металлы и чеканить монету из своего серебра, имели и золотые деньги или медали российские...».

Таблица

Распределение добычи золота по эпохам и континентам (в тоннах)

Table

Distribution of gold mining in epochs and continents (in tons)

Эпохи	Континенты			Всего
	Азия	Африка	Европа	
Каменный и медный век (4500–2100 гг. до н.э.)	140	730	50	920
Бронзовый век (2100–1200 гг. до н.э.)	525	1720	400	2645
Железный век (1200–50 гг. до н.э.)	895	1415	1810	4120
Эпоха Римской империи (50 гг. до н.э.–500 гг. н.э.)	542	320	1710	2572
Всего:	2102	4185	3970	10257

Н.М. Карамзин отметил, что медаль с изображением св. Николая, подаренная Иваном III его дочери Феодосии, отчеканена в 1497 г. из первого русского золота, добытого на р. Цильме.

На Урале и за Уралом золото находили не раз и в значительных количествах. Только это были не самородки и не песок, а готовые ювелирные изделия. Находили их не рудознатцы, а «бугорники» — те, кто тайно раскапывал старинные могилы.

После того как об этом сообщили Петру I, воровство из бугров стало караться смертной казнью, а раскопками занялись люди государевы. Было обнаружено много золотых изделий: оружие, утварь, безделушки, изображавшие полуфантастических животных. Поражало искусство неведомых мастеров, а главное — щедрость, с какой они расходовали золото. Коллекция золотых изделий из могильников была доставлена в столицу, и Петр I приказал немедленно расследовать «...откуда в прежние лета такое золото и серебро получали...».

Сохранилось донесение из Долматовского монастыря от старца по имени Лот о том, что, по словам башкир, золото когда-то добывали вблизи верховий рек Исети, Ая и Уфы, поскольку там сохранились остатки плавильных печей. Подобные сообщения поступали и из других мест. Сохранились и рапорты о проведенных проверках «...некоторых служилых людей из Тобольска...». Находили следы «копаных ям», а иногда даже и крупинки золота, но пригодных для разработки скоплений обнаружить не удалось.

Известные находки изделий из золота в районе Новиковки около Уфы в 1718 г. и в самом городе в 1782 г. относятся к VI–VII вв. н.э. Они представлены пряжками, бляхами от поясного или конского убора, шейными гривнами и серьгами. Многие из них украшены зернью и вставками из цветных камней в стиле, характерном для Северного Причерноморья этого периода.

Ниже приведем несколько примеров, указывающих на наличие добычи золота [Иессен, 1948] на Южном Урале и в пределах Башкортостана.

Так, на прииске Рамеевых, расположенном на р. Султанке, правом притоке Кизыла, в бывшей второй Бурзянской волости Орского уезда Оренбургской губернии были обнаружены (по-видимому, ранее 1900 г.) следы древней разработки золотоносных кварцевых жил при помощи каменных орудий. Найдены были куски дробленого кварца, а на обнаженных в результате верховой отработки участках жил выявлены следы простого соскабливания вкрапленности металлического золота.

Еще академик И. Лепехин [1802], путешествуя по Уралу в 1770 г., отметил «Чудскую копь» в 4 км от Кананикольского завода на речке Куртлы. Он писал: «...Наша Чудская копь казалася нам быть доказательницею и того, что древние сея страны обитатели промышляли и высокие металлы. Гребень горы состоял из чистого белого и нарочито жирного кварца. Расселины оного наполнены были черноватой или сизою материею, какая обыкновенно при рудах золотосодержащих показывается. Чернь сия удобно мешалася со ртутью, по перегнании которой несумненные оставляла следы золота...».

Другая подобная древняя выработка обнаружена И. Лепехиным недалеко от предыдущей. «...Не доезжая до Сакмары верст за 20, при речке Ширлы наехали на гребень горы, а в пяти верстах от оного места на косогоре, которого имени нам башкирцы сказать не могли, была старинная копь, где медные в кварце признаки и с золотою чернью находилися...».

Что касается сведений о древних работах по добыче россыпного золота, то о них можно судить почти исключительно косвенным образом, на основании следующих археологических находок во время золотоизыскательских работ [Иессен, 1948]:

1. На Усть-Мурзинском прииске Березовского завода при промывке золотоносных песков на глубине 6 аршин найдены медное грузило и медный рыбацкий крючок, поступившие в 1889 г. от Н.Я. Нестеровского в музей Уральского Общества любителей естествознания [Лобанов, 1898].

2. В Каменской даче на р. Багаряк на глубине 6 аршин, в речниках, смешанных с золотоносным песком, найден медный рыболовный крючок [Лобанов, 1898].

3. На р. Миасс, в районе Орлово-Надеждинского и Васильевского болот у д. Ильчигуловой, Н.И. Кураев [1937] отмечает наличие древней добычи золота, указывая, что «...в старинных работах находили медные топоры...». Медные и бронзовые топоры на Урале применялись не позже V–III вв. до н.э.

4. На Иоанно-Крестительском прииске, у поселка Темирского, на землях Кундравинской станицы, бывшего Троицкого уезда Оренбургской губернии в золотоносном песке был найден глиняный сосуд, заполненный им, причем на дне сосуда лежало несколько угольков и два черепа мелких грызунов. Сосуд в 1896 г. поступил в музей Уральского Общества любителей естествознания. Сосуд этот является типичным горшком Андроновского

этапа медно-бронзового века и относится к концу II тысячелетия до н.э. Очевидно, он попал в золотоносный слой при древней добыче золота.

5. На Крестовоздвиженском прииске Троицкого уезда при добыче золотосодержащих песков на глубине 12 аршин был найден обломок медного перстня [Клер, 1884].

6. Около Троицка, приблизительно в 1854 г., при добыче золотоносных песков на глубине 14 м найден латунный буддийский идол, описанный О.Е. Клером [1884]. Идол имел высоту 16.8 см, инкрустирован серебром и местами сохранил следы позолоты. По определению научного сотрудника Эрмитажа С.М. Кочетовой, он скорее всего северо-индийского (непальского) происхождения и относится к периоду не ранее VIII–IX и не позже XI–XII вв. н.э. Можно полагать, что попасть в россыпь он мог только при древней добыче золота.

7. На р. Суундук отмечено наличие следов древних выработок по добыче золота. Одно из этих мест, по-видимому, находится около устья р. Юши, близ железнодорожной ст. Кваркенской, где при добыче золотоносных песков найден был медный топор с двумя ушками (кельт) первой половины последнего тысячелетия до н.э. (инвентарь бывшего Оренбургского музея, № 6).

8. На ранее упомянутом Султанском прииске Рамеевых, где наряду с рудным добывалось и россыпное золото, в золотоносном песке были найдены медные и бронзовые орудия: проушной топор, золото и два куска глиняного сосуда. Относятся эти находки ко времени около I тысячелетия до н.э. (инвентарь бывшего Оренбургского музея, № 11).

9. На Таналыкском прииске Горяевых, в бывшей Бурзянской волости Орского уезда, были найдены медный или бронзовый кинжал и серп, относящиеся к началу последнего тысячелетия до н.э. (инвентарь бывшего Оренбургского музея, № 14).

Приведенные сведения свидетельствуют о возникновении древних промыслов по добыче россыпного и коренного золота на Южном Урале и в Зауралье еще в медно-бронзовом веке (находки на Иоанно-Крестительском и Султанском приисках и на р. Юша) и о существовании таковых в VII–XII вв. н.э. (находка под Троицком).

В более поздние времена наиболее богатые месторождения на Южном Урале разрабатывались владельцами приисков Рамеевыми, Горяевым, Прибылевским и другими, получившими от своих предприятий сотни пудов металла.

Результаты исследований

На Южном Урале на Уртазым-Горяевском прииске, расположенном на южном замыкании хребта Ирендык, выделено Шуралинское россыпное поле, которое объединяет россыпи Шурале, Безымянный II и Улак в бассейне р. Бол. Уртазымка, правого притока р. Урал (рис. 2) [Казаков, Салихов, 2006]. Краткое описание основных россыпей этого поля приведено ниже.

Россыпь Шурале расположена в 7.5 км к северо-северо-западу от с. Баишево в долине одноименного ручья, правого притока р. Бол. Уртазымка. Россыпь позднеэоплейстоцен-голоценовая, аллювиальная. Известна с 1877 г. и отрабатывалась до 1910 г. мускульным способом на участке от устья до средней части долины. Добыто 180 кг золота [Варганов, 1970ф].

В 1958 г. в долине ручья проведены поисковые работы. В 1984–1985 гг. россыпь разведана шурфами и шурфо-скважинами [Мокринский, 1986ф].

По данным этих работ, россыпь находится в пойме, выполненной осадками голоцена, сводный разрез которых представлен:

	Мощность, м
1. Почвенно-растительный слой	0.0–0.5
2. Глины илистые черные с растительными остатками, глины сизовато-серые	0.5–1.0
3. Пески, супеси, суглинки коричневые, серые с галечниками и мелкими валунами полимиктового состава (до 30, реже 50%), средней и хорошей окатанности; отложения золотоносны	1.0–2.9

Плотик — глинисто-алевритистая кора выветривания.

Золотоносность россыпи связана с песками и галечниками русловой фации аллювия поймы. В плане россыпь лентообразной формы. Общая длина промышленной части россыпи 1830 м, средняя ширина — 48 м, средняя мощность горной массы — 2.9 м.

Балансовые запасы категории C_1 составляют 222 тыс. м^3 горной массы и 51.9 кг золота при среднем содержании 234 мг/м^3.

Россыпь Безымянная II расположена в 6 км к северо-западу от с. Баишево и в 1 км к юго-западу от россыпи Шурале.

Россыпь поздненеоплейстоцен-голоценовая, делювиально-аллювиальная. Приурочена к средней и верхней части лога.

Россыпь техногенная остаточно-целикового типа, в 1984–1985 гг. разведывалась шурфо-скважинами УБСР-25 [Мокринский и др., 1986ф]. Рыхлые отложения, вмещающие россыпь, представлены

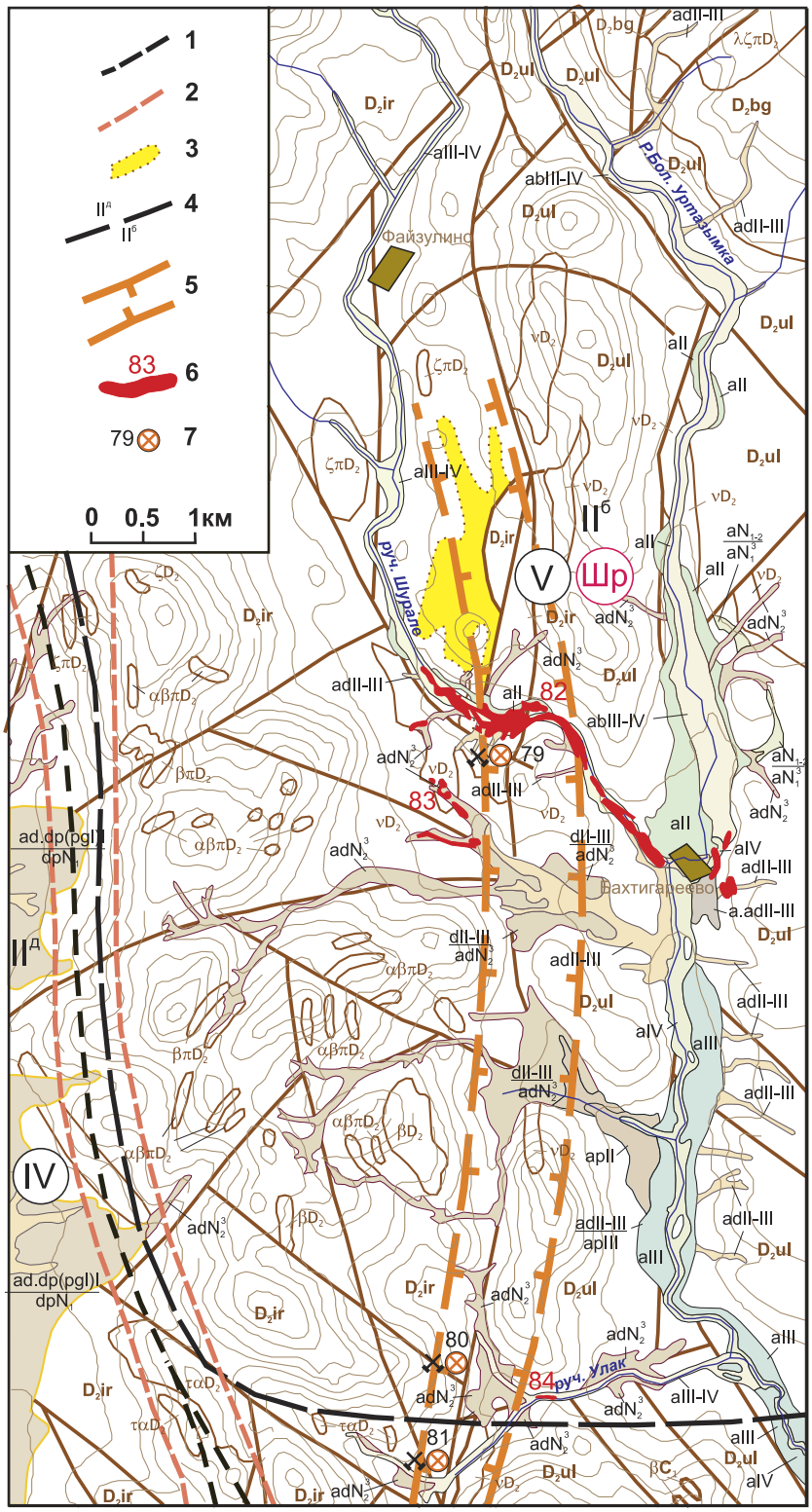


Рис. 2. Карта россыпной золотоносности Шуралинского россыпного поля (по Казакову и др. [2002ф], упрощено)

Условные обозначения. Минерагеническое районирование: 1 — россыпные зоны: IV — Сакмаро-Таналыкская, V — Восточно-Ирендыкская; 2 — россыпные поля: Шуралинское (Шр); 3 — зоны метасоматитов; 4 — геоморфологические зоны: IIб — приподнятых горных массивов Южного Урала, IIд — остаточных гор восточного склона Южного Урала; 5 — фрагменты эоплейстоценовых палеодолин; 6 — россыпи золота, отработанные мускульным способом; 7 — коренные месторождения и рудопроявления золота. Список месторождений и россыпепроявлений золота: 79 — Уртазым-Горяевское, 80 — Улак–I, 81 — Улак–II (рудное); 82 — Шурале, 83 — Безымянный II, 84 — Улак (россыпное)

Fig. 2. The map of alluvial gold content of the Shuralinsky placer field (according to Kazakov et al. [2002f], simplified)

Legend. Mineragenic zoning: 1 — placer zones: IV — Sakmaro-Tanalyk, V — East-Irendyk; 2 — placer fields: Shuralinskoye (Шр); 3 — zone of metasomatites; 4 — geomorphological zones: IIб — elevated mountain massifs of the Southern Urals, IIд — the residual mountains of the eastern slope of the Southern Urals; 5 — fragments of eopleistocene paleovalley; 6 — placer gold, worked-out in a muscular way; 7 — the main deposits and ore occurrences of gold. List of deposits and gold discoveries: 79 — Urtazym-Goryaevskoe, 80 — Ulak–I, 81 — Ulak–II (ore); 82 — Shurale, 83 — Nameless II, 84 — Ulak (placer)

глинами, суглинками с угловато-окатанным галечным материалом (до 30–45%) местных пород мощностью до 4–6 м.

В плане россыпь имеет лентовидную форму. Длина промышленной части россыпи — 330 м, средняя ширина — 30 м, средняя мощность горной массы — 3 м. В вертикальном разрезе продуктивный пласт «зависает» над плотиком россыпи, ложась на суглинки и коры выветривания.

Балансовые запасы категории C_1 подсчитаны в количестве 31.1 тыс. м^3 горной массы и 8.5 кг золота с содержанием 273 мг/м^3.

Шлиховое золото россыпей Шурале и Безымянный II относится к IV (крупному) типу промышленной классификации. В целом классы крупности золота (мм) составляют: –3+1 = 89.3%; –1+0.5 = 6.9%; –0.5+0.1 = 3.7%. Золото объемных форм, из которых 80% — комковидные, 15% — таблитчатые и 5% — пластинчатые. Форма золотин от овальных и округлых до субпрямоугольных.

Золото среднеокатанное и сильно окатанное (до 10–20%). В россыпи Шурале встречаются золотины в форме искаженных кристаллов субоктаэдрической формы. Пробность золота 930.

Однородность химического состава, морфологии и крупности золота свидетельствует об однотипности коренных источников и территориальной приближенности их к россыпям.

При обследовании россыпей [Казаков, 1988ф] установлено, что ручьи Шурале и Безымянный II пересекают хорошо выраженную в рельефе палеодолину меридионального простирания раннеэоплейстоценового заложения, выполненную пестроцветами с включением хорошо окатанного кварцевого галечника. Кроме того, по руч. Шурале старательскими мускульными отработками фрагментарно затронуты отложения I надпойменной террасы. Таким образом, наличие хорошо окатанного золота, выявленного в поздненеоплейстоцен-голоценовых россыпях, указывает на неоднократное переотложение его из промежуточных источников палеодолины и террасовых комплексов гидросети современного плана.

В бортах долин ручьев Шурале и Безымянный II расположена группа Уртазым-Горяевских месторождений коренного золота золото-кварцевого минерального типа, которые являются источниками россыпного золота.

На юге Шуралинского россыпного поля известна *россыпь Улак* с установленными запасами золота в количестве 23 кг при среднем содержании 146 мг/м^3. При этом в бортах долины р. Улак развиты кварцевожильные рудопроявления золота Улак–1 и Улак–2 (см. рис. 2), которые так же, как и на Шуралинском участке, являются источниками россыпного золота.

В целом на Уртазым-Горяевском прииске по архивным данным за период 1877–1910 гг. получено 374.7 кг рудного и россыпного золота.

Приуроченность археологических стоянок к золотоносному россыпному полю

В настоящее время в пределах большей части Шуралинского россыпного поля расположен так называемый Баишевский археологический микрорайон (БАМ). В его границах выявлено около двухсот поселенческих, погребальных и производственных памятников археологии от эпохи каменного века до позднего Средневековья и этнографического времени [Гусев и др., 2010].

К наиболее древним из открытых и обследованных памятников относятся следующие:

— стоянки Буреле–1 (поздний мезолит) и Буреле–2 (неолит);
— городище Улак–1 и поселение Улак–2 составляют один комплекс и входят в состав алакульских памятников развитого бронзового века (XIV в. до н.э.), при этом по степени сохранности и насыщенности культурного слоя артефактами Улак–1 значительно превосходит Аркаим;
— Баишевский могильник (III – начало II тыс. до н.э.);
— курганы эпохи бронзы Синташтинской культуры и курганы Алакульской культуры, расположенные к северо-востоку от с. Баишево.

Согласно Постановлению КМ РБ № 354 от 29 ноября 2002 г. на базе БАМ принято решение о создании Историко-археологического и ландшафтного музея-заповедника «Ирендык».

Взаимосвязь археологических стоянок с пра-озером Сыгулкуль

Хребет Ирендык в южном замыкании резко расширяется более чем на 20 км. В 1988 г. в юго-восточной части этого расширения на стыке с геоморфологической зоной приподнятого Зауральского пенеплена, в 7 км северо-восточнее с. Баишево (на юго-восточной окраине с. Карышкино) автором настоящей статьи обнаружено отмершее (сухое) пра-озеро Сагылкуль (название автора) (рис. 3) с сохранившимися береговыми валами [Казаков, 2017]. Расположение озера непосредственно восточнее БАМ с многочисленными артефактами делает его весьма привлекательным для историков и археологов в отношении новых, прежде всего археологических, открытий. Наиболее реальным местоположением стоянки древнего человека на берегах значительного по размерам (5.2×2.3 км) пра-озера, по мнению автора, является территория и окрестности с. Карышкино, выгодно расположенного у горного ручья с заветренной стороны юго-восточного отрога хр. Ирендык на террасе с абсолютной высотой 360–365 м (5–10 м над реконструированным урезом воды пра-озера).

Обсуждение результатов (дискуссия)

Обнаружение в юго-восточной части пра-озера береговых валов позволяет считать его одновозрастным с другими остаточными озерами Южного Урала и Зауралья [Казаков, 2017].

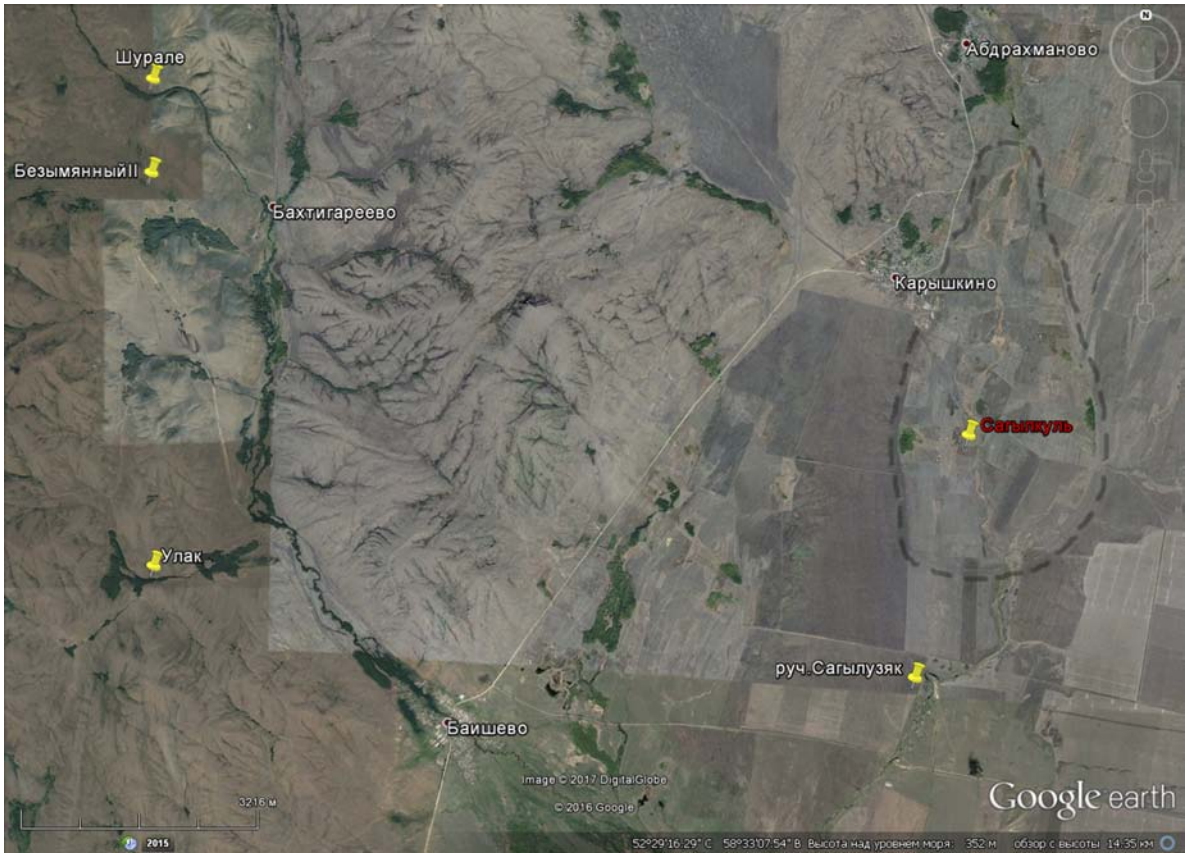


Рис. 3. Озерная котловина Сагылкуль (название автора) на космоснимке (Google Earth)

Fig. 3. The lake depression Sagylkul (named by the author) on the Google Earth satellite image

Как известно, озерные террасы и сопровождающие их береговые валы, выработанные прибоем и трансформированные льдами, являются индикаторами колебаний уровня водоемов, связанных, в свою очередь, с изменениями климата и неотектонической активностью региона. Большой информативностью обладают донные осадки озер. Так, изучение всей колонки донных отложений (озера Иткуль, Уфимское, Сырыткуль в Челябинской области и озера Талкас и Култубан в Башкортостане) с использованием высокоточного радиоуглеродного датирования методом ускоренной масс-спектрометрии AMS ^{14}C показало многократную смену периодов аридизации и гумидизации климата в суббореальном и субатлантическом периодах [Масленникова, 2012; Масленникова и др., 2012].

В позднеледниковье — голоцене наиболее четко выделяются два климатических оптимума: раннебореальный (8.9–8.8 тыс. лет назад) и позднеатлантический (6.2–5.5 тыс. лет назад) [Борзенкова, Зубаков, 1984], когда наиболее четко происходили изменения климата в сторону потеплений. Сопоставление палеолимнологических данных с геолого-геоморфологическими особенностями берегов позволило установить период формирования береговых комплексов озер, изученных в Челябинской области. Период охватывает время от стояния максимального уровня зеркала водоемов (около 8 тыс. лет назад) до настоящего времени. Самые высокие береговые валы формировались в атлантический период голоцена (около 8–5.3 тыс. лет) [Диянова, Дерягин, 2010]. Таким образом, эти данные можно экстраполировать и на отложения пра-озера Сагылкуль и предположить, что береговые валы формировались в атлантике при максимальном стоянии уровня воды в озере.

Выводы и рекомендации

I. По Шуралинскому россыпному полю:

— в результате проведенных исследований установлено, что ручьи Шурале, Безымянный II и Улак пересекают реконструированную хорошо

выраженную в рельефе палеодолину меридионального простирания раннеэоплейстоценового заложения, выполненную пестроцветами с включением хорошо окатанного кварцевого галечника; палеодолина приурочена к меридиональной зоне тектонических разломов, сопровождаемых золото-сульфидно-кварцевой и сульфидной минерализацией;

— наличие наряду с плохо окатанным хорошо окатанного золота, изученного в поздненеоплейстоцен-голоценовых россыпях Шурале, Безымянный II и Улак, указывает как на близость коренных источников золота, так и на неоднократное переотложение его из промежуточных коллекторов палеодолины и террасовых комплексов гидросети современного плана.

II. По Баишевскому археологическому микрорайону и, соответственно, по Историко-археологическому и ландшафтному музею-заповеднику «Ирендык»:

— с обнаружением пра-озера Сагылкуль возможно расширение БАМ восточнее с наиболее вероятным местом нахождением приозерных стоянок человека в районе с. Карышкино на приозерной террасе с заветренной стороны отрогов хребта Ирендык;

— дополнительную привлекательность для музея-заповедника может представлять вполне реальная возможность организации промывки посетителями золотоносных песков в районе остаточных отвалов разработки россыпи по ручью Шурале в районе его широтного колена. Автор надеется, что приведенная информация по истории добычи россыпного золота, найденных при этом различных артефактах, новейших данных о возрасте озерных комплексов и палеоклиматических условий их формирования, характеристике россыпного золота, добываемого в пределах Баишевского археологического микрорайона (и, соответственно, Историко-археологического и ландшафтного музея-заповедника «Ирендык») будет способствовать новым открытиям и дальнейшей популяризации историко-культурного наследия этого уникального природно-географического и историко-культурного комплекса объектов.

Автор признателен Г.А. Данукаловой за помощь при написании статьи.

Список литературы:

Борзенкова И.И., Зубаков В.А. Климатический оптимум голоцена как модель глобального климата начала XXI века // Метеорология и гидрология. – 1984. – № 8. – С. 69–77.

Гумбольдт А. О количестве золота, добываемого в Российской империи // Горный журнал. – 1830. – Ч. 1. – С. 412.

Гусев С.В., Загорулько А.В., Минеева И.М., Ожередов Ю.И. Археологические музеи-заповедники Российской Федерации: Проблемы формирования и функционирования. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. – Т. 1: Европейская часть России. – 256 с.

Диянова О.П., Дерягин В.В. Литолого-геоморфологические особенности побережий некоторых озер Южного Урала и Зауралья // Вестник МГОУ. Сер. «Естественные науки». – 2010. – № 2. – С. 106–112.

Зайков В.В., Таиров А.Д., Зайкова Е.В., Яблонский А.Д., Котляров В.А. Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Южного Урала. – Екатеринбург: УрО РАН, 2012. – 232 с.

Иессен А.А. О древней добыче золота на Урале // 200 лет золотой промышленности Урала. – Свердловск: УФАН СССР, 1948. – С. 12–126.

Казаков П.В. Остаточные озера N–Q палеогидросети, озерные комплексы и сопутствующие им полезные ископаемые (восточный склон Южного Урала и Зауралье) // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. – 2017. – № 23. – С. 63–68.

Казаков П.В., Салихов Д.Н. Полезные ископаемые Республики Башкортостан (россыпное золото). Часть 2. – Уфа: Гилем, 2006. – 288 с.

Клер О.Е. Заметка о некоторых доисторических предметах, найденных в Уральском крае // Записки Уральского Общества любителей естествознания. – 1884. – Т. 7, Вып. 4. – С. 145–147.

Кураев Н.И. Золотоносные береговые россыпи на Южном Урале // Сов. золотопромышленность. – 1937. – № 8. – С. 25.

Лепехин И. Дневные записки путешествия по разным провинциям Российского государства в 1770 г. – СПБ, 1802. – Ч. 2. – 338 с.

Лобанов Д.И. Каталог музея Уральского общества любителей естествознания. – Екатеринбург, 1898. – №№ 6394–1771.

Локерман А.А. Загадка русского золота. – М.: Наука, 1978. – 144 с.

Масленникова А.В. Геохимическое обоснование палеогеоэкологических реконструкций голоцена Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2012. – 18 с.

Масленникова А.В., Дерягин В.В., Удачин В.Н. Реконструкция условий голоценовой озерной седиментации на восточном склоне Южного Урала // Литосфера. – 2012. – № 2. – С. 21–32.

Quring H. Geschichte des Goldes. Die goldenen Zeitalter in ihrer kulturellen und wirtschaftlichen Bedeutung. – Stutgart: K. Enke Verlag, 1948. – 318 p.

References:

Borzenkova I.I., Zubakov V.A. Klimaticheskii optimum golotsena kak model' global'nogo klimata nachala XXI veka [Climatic optimum of the Holocene as model of global climate of the beginning of the 21st century] // Meteorologiya i gidrologiya. 1984. No. 8. P. 69–77 (in Russian).

Diyanova O.P., Deryagin V.V. Litologo-geomorfologicheskie osobennosti poberezhii nekotorykh ozer Yuzhnogo Urala i Zaural'ya [Lithological and geomorphological features of the coast of some lakes of the Southern Urals and Trans-Urals] // Vestnik MGOU. Seriya «Estestvennye nauki». 2010. No. 2. P. 106–112 (in Russian).

Gumbol'dt A. O kolichestve zolota, dobyvaemogo v Rossiiskoi imperii [About the amount of gold mined in the Russian Empire] // Gornyi zhurnal. 1830. Ch. 1. P. 412 (in Russian).

Gusev S.V., Zagorul'ko A.V., Mineeva I.M., Ozheredov Yu.I. Arkheologicheskie muzei-zapovedniki Rossiiskoi Federatsii: Problemy formirovaniya i funktsionirovaniya. T. I: Evropeiskaya chast' Rossii [Archaeological Museum Reserves of Russian Federation: Problems of Formation and Functioning. T. I: European part of Russia]. Tomsk: TML-Press, 2010. 256 p. (in Russian).

Iessen A.A. O drevnei dobyche zolota na Urale [About the ancient gold mining in the Urals] // 200 let zolotoi promyshlennosti Urala. Sverdlovsk: UFAN SSSR, 1948. P. 12–126 (in Russian).

Kazakov P.V. Ostatochnye ozera N–Q paleogidroseti, ozernye kompleksy i soputstvuyushchie im poleznye iskopaemye (vostochnyi sklon Yuzhnogo Urala i Zaural'e) [Residual lakes of the N–Q paleohydronet, lacustrine complexes and associated minerals (eastern slope of the Southern Urals and the Transurals)] // Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov AN RB. 2017. No. 23. P. 63–68 (in Russian).

Kazakov P.V., Salikhov D.N. Poleznye iskopaemye Respubliki Bashkortostan (rossypnoe zoloto). Chast' 2 [Mineral Resources of the Republic of Bashkortostan (placer gold). Part 2]. Ufa: Gilem, 2006. 288 p. (in Russian).

Kler O.E. Zametka o nekotorykh doistoricheskikh predmetakh, naidennykh v Ural'skom krae [A note on some prehistoric objects found in the Urals] // Zapiski Ural'skogo Obshchestva lyubitelei estestvoznaniya. 1884. V. 7, Is. 4. P. 145–147 (in Russian).

Kuraev N.I. Zolotonosnye beregovye rossypi na Yuzhnom Urale [Gold-bearing coastal placers in the Southern Urals] // Sov. Zolotopromyshlennost'. 1937. No. 8. P. 25. (in Russian).

Lepekhin I. Dnevnye zapiski puteshestviya po raznym provintsiyam Rossiiskogo gosudarstva v 1770 g [Daytime travel notes for different provinces of the Russian state in 1770]. SPB, 1802. Ch. 2. 338 p. (in Russian).

Lobanov D.I. Katalog muzeya Ural'skogo ob-va lyubitelei estestvoznaniya [Catalog of the museum of the Ural Society of lovers of natural science]. Ekaterinburg, 1898. No. 6394–1771 (in Russian).

Lokerman A.A. Zagadka russkogo zolota [The riddle of Russian gold]. M.: Nauka, 1978. 144 p. (in Russian).

Maslennikova A.V. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk: geokhimicheskoe obosnovanie paleogeoekologicheskikh rekonstruktsii golotsena Yuzhnogo Urala [The dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of the candidate of geologo-mineralogical sciences: the geochemical substantiation of paleogeoecological reconstructions of Holocene of Southern Urals Mountains]. Tomsk, 2012. 18 p. (in Russian).

Maslennikova A.V., Deryagin V.V., Udachin V.N. Rekonstruktsiya uslovii golotsenovoi ozernoi sedimentatsii na vostochnom sklone Yuzhnogo Urala [Reconstruction of the conditions of Holocene lake sedimentation on the eastern slope of the Southern Urals] // Litosfera. 2012. No. 2. P. 21–32 (in Russian).

Quring H. Geschichte des Goldes. Die goldenen Zeitalter in ihrer kulturellen und wirtschaftlichen Bedeutung. Stutgart: K. Enke Verlag, 1948. 318 p.

Zaikov V.V., Tairov A.D., Zaikova E.V., Yablonskii A.D., Kotlyarov V.A. Blagorodnye metally v rudakh i drevnikh zolotykh izdeliyakh Yuzhnogo Urala [Noble metals in ores and ancient gold products of the South Urals]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2012. 232 p. (in Russian).

Сведения об авторе:
Казаков Петр Васильевич, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: pv_kazakov@list.ru.

About the autor:
Kazakov Peter, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: pv_kazakov@list.ru.

УДК 553.33 DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-5

ПЕРСПЕКТИВЫ УГЛЕРОДИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НОВОУСМАНОВСКОЙ ПЛОЩАДИ НА РЕНИЙ, ВОЛЬФРАМ, МОЛИБДЕН (ЗОНА УРАЛТАУ)

© 2018 г. А. В. Сначёв, В. И. Сначёв

Реферат. В статье сделан краткий обзор литературных данных по проблеме рениеносности углеродистых сланцев. Приводятся кларки рения, геохимический фон, значения рудогенной аномалии, а также перечислены стратиграфические уровни в разрезах рифейских и палеозойских отложений Башкирского и Уралтауского мегантиклинориев с широким развитием черносланцевых отложений. Рассмотрены: 1) общие черты минерализованных углеродистых толщ западного склона Южного Урала; 2) геологическое строение наиболее перспективной на W, Mo и Re Новоусмановской площади, расположенной в зоне сочленения субмеридионального Западно-Уралтауского и широтного Бурзянского разломов; 3) результаты геологосъемочных работ предшественников по поискам молибденового оруденения. Редкометальную рудную минерализацию в пределах Новоусмановской площади геологи справедливо связывали с крупным, невскрытым эрозией, интрузивным телом гранитоидов.

Кроме того, нами установлено, что аномально высокие содержания редких металлов и рения приурочены к кварцевым и полевошпат-кварцевым прожилкам и жилам, образующим протяженные зоны среди углеродистых отложений. Содержания в них вольфрама достигают 190 г/т, молибдена — 100 г/т, рения — 4.6 г/т. Для рения разброс значений составляет от 0.6 до 4.6 г/т, в среднем по 18 пробам — 1.74 г/т, что находится в пределах рудогенной аномалии и в 10 раз превышает его кларки в черных сланцах. Положительным прогнозно-поисковым моментом является слабая эродированность рассматриваемой W-Mo-Re рудно-магматической системы, в которой частично вскрыта лишь верхняя ее часть. Таким образом, данная рудная минерализация может быть отнесена к жильному типу и генетически связана с залегающей на глубине интрузией кислого состава, апофизы которой отмечены в непосредственной близости от вершины г. Артлыш и южнее.

Ключевые слова: углеродистые сланцы, рений, молибден, минерализация, метаморфизм, Южный Урал, Новоусмановская площадь

PROSPECTS OF CARBONACEOUS DEPOSITS OF NOVOUSMANOVSKY AREA ON RHENIUM, TUNGSTEN, MOLYBDENUM (URALTAU ZONE)

A. V. Snachev, V. I. Snachev

Abstract. The article is a brief review of the literature on the problem of rhenium-bearing carbonaceous shale. It's clark is given, geochemical background, values of ore anomalies, and also a list of stratigraphic levels in sections of the Riphean and Paleozoic deposits of the Bashkirian and Uraltau meganticlinoria with extensive development of black shales. A further consideration is given to: 1) general features of mineralized carbonaceous strata of the western slope of the Southern Urals; 2) geological structure of the most promising on W, Mo and Re Novousmanovsky sheet, located at the junction of the West-Uraltau north-south fault and Burzyan west-east fault; 3) the results of geological mapping work of predecessors in the search for molybdenum mineralization. Rare metal ore mineralization within the Novousmanovsky sheet geologists connected with a large buried granitoid intrusion.

We found that the abnormally high content of rare metals and rhenium are confined to quartz and feldspar-quartz veins, forming extensive areas within the carbonaceous deposits. The content of tungsten reaches 190 g/t, molybdenum — 100 g/t, rhenium — 4.6 g/t. For rhenium, the content variation ranged from 0.6 to 4.6 g/t, averaging for 18 samples as 1.74 g/t, which is within ore anomalies and 10 times greater than its clark in black shales. Positive predictive search criterion is weak erosion of the considered W-Mo-Re ore-magmatic system, of which only the top is partially opened. Thus, this ore mineralization may be related to the vein type and genetically linked to the buried intrusion of acidic composition, apophyses of which are found near the top of Artlish mountain and farther south.

Keywords: carbonaceous schists, rhenium, tungsten, mineralization, metamorphism, Southern Urals, Novousmanovsky sheet

Для цитирования: Сначёв А.В., Сначёв В.И. Перспективы углеродистых отложений Новоусмановской площади на рений, вольфрам, молибден (зона Уралтау) // Геологический вестник. 2018. № 2. С. 68–78. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-5.

For citation: Snachev A.V., Snachev V.I. Prospects of carbonaceous deposits of Novousmanovsky area on rhenium, tungsten, molybdenum (Uraltau zone) // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 68–78. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-5.

Введение

Углеродистые отложения, как известно, представляют собой весьма благоприятную геохимическую среду для первичного накопления многих промышленно важных элементов [Коробейников, 1995; Митрофанов и др., 1994]. При определенных условиях, особенно в областях проявления зонального метаморфизма и тектонической активности, углеродистые породы могут сами служить источником металлов и концентрировать в себе крупные залежи золота, молибдена, рения, вольфрама, ванадия, марганца, платины и других элементов [Дистлер и др., 1996; Маракушев, 1999]. В пределах Южного Урала в черносланцевых отложениях в последние годы был выявлен ряд благородно- и редкометальных объектов [Сначёв, Муркин, 1989; Ковалев и др., 1997; Ковалев, 2004; Сначёв и др., 2011; Сначёв, Сначёв, 2014].

Рений, наряду с молибденом, принадлежит к числу самых характерных элементов-примесей черных сланцев. Причины этого коренятся в особом «сродстве» Mo и Re к органическому веществу. Его кларк в углеродистых сланцах составляет 0.n г/т (n = 3–8), что на 3 порядка превосходит кларк Re в осадочных породах [Юдович, Кетрис, 1988]. Аномальным для черных сланцев можно считать содержание Re >3.5 г/т. В уникальных сланцах мульды Зангерхаузен (Германия) содержания Re доходят до 1500 г/т при средних значениях 10–30 г/т. Много рения также в ванадиеносных кембрийских углеродистых отложениях Казахстана, а также в раннеэоценовых сузакских сланцах Таджикистана [Анкинович, Анкинович, 1978]. По данным таджикских ученых, даже среднее по месторождениям содержание Re составляет 1.2–9.5 г/т, по отдельным пробам доходит до 21.4 г/т. Это на 5 порядков выше кларка Re в земной коре [Юдович, Кетрис, 1994]. Высокие значения Re в отложениях черносланцевой формации позволяют рассматривать ее в качестве весьма перспективной не только на вольфрам, молибден, благородные металлы, но и на рений.

Геологическое строение рассматриваемой территории

Зона Уралтау, расположенная между Главным Уральским разломом на востоке, Зилаирским мегасинклинорием и Башкирским мегантиклинорием на западе, прослеживается в долготном направлении от широты с. Кирябинское до Мугоджар (рис. 1).

До недавнего времени эта зона выделялась на всех геологических картах как допалеозойская (рифей-вендская) антиклинорная структура асимметричного строения с пологим западным и крутым восточным крыльями, состоящая из сочетания крупных брахиформных складок, осложненных более поздней изоклинальной вторичной складчатостью [Козлов, Пацков, 1974]. В последнее время в связи с новыми находками фауны [Захаров, Пучков, 1994] наметилась тенденция к пересмотру стратиграфии и структуры этого региона. Данными авторами возраст отложений зоны Уралтау трактуется как ранне-среднепалеозойский (возможно с реликтами более древнего субстрата, объемы которого не ясны); ее главными структурными элементами считаются дислокации чешуйчато-надвигового характера, повсеместно сопровождаемые интенсивной принадвиговой складчатостью, рассланцеванием и будинированием пород, а местами и развитием зон меланжа и милонитизации.

Слагающие Уралтаускую зону максютовский и суванякский метатерригенные комплексы имеют тектонические соотношения и на всем своем протяжении разделены пологим Янтышевско-Юлукским надвигом западного падения. Восточное крыло антиформной структуры, по-видимому, перекрыто надвинутыми по Главному Уральскому разлому толщами палеоокеанического сектора, представленными на поверхности в зоне динамического влияния разлома мощной полосой развития тектонических брекчий, милонитов и бластомилонитов [Нечеухин и др., 1986]. Вдоль восточной краевой части Уралтау породы максютовского комплекса затронуты метаморфизмом высоких давлений, что позволило А.А. Алексееву [1976] и другим исследователям выделить здесь фрагмент высокобарического эклогит-глаукофан-сланцевого пояса, маркирующего коллизионно-шовную зону.

В разрезе метаморфических комплексов зоны Уралтау широко распространены углеродистые отложения, встречающиеся в виде самостоятельных пачек и горизонтов на кайраклинском, юмагузинском, карамалинском, уткальском возрастных уровнях. В тектонически активизированных зонах среди этих черносланцевых пород присутствуют зоны сульфидизации и кварцево-жильные образования с аномально высокими концентрациями V, W, Mo, Re, Au, Pt, P.

Анализ имеющихся материалов по зоне Уралтау показывает, что наиболее общими чертами минерализованных черносланцевых толщ являются следующие: 1) приуроченность оруденения

к кварцевым и кварц-сульфидным жилам, образующим линейные кварцево-жильные поля или штокверковые зоны, локализованные чаще всего в горизонтах углеродистых пород, метаморфизованных в зеленосланцевой фации; 2) контроль оруденения зонами смятия и дробления, тяготеющими к крупным региональным разломам.

Вольфрам-молибденовое оруденение является нетрадиционным не только для зоны Уралтау, но и для западного склона Южного Урала в целом. Вместе с тем в результате геологосъемочных и тематических работ, проведенных Д.Д. Криницким, В.М. Криницкой [1958], а затем В.В. Радченко [1997], в районе д. Новоусманово в углеродистых сланцах и кварцевых жилах отмечены молибденит и вольфрамит, что указывает на возможность обнаружения здесь проявлений вышеперечисленных редких металлов.

Целенаправленных поисковых работ на рений в углеродистых сланцах западного склона Южного Урала до настоящего времени не проводилось. Такой задачи просто не ставилось. Однако, учитывая особое сродство Re и Mo к органическому веществу, а также четкую прямо пропорциональную зависимость между содержаниями Mo и Re в других рудных формациях (меднопорфировых, медистых песчаников и т.д.), можно уже на данном этапе выделить наиболее перспективные площади на поиски рения в углеродистых отложениях. Подобные работы по изучению рудоносности черносланцевой формации Башкирского поднятия и зоны Уралтау нами

Рис. 1. Обзорная геологическая схема Уралтауского мегантиклинория (по А.А. Алексееву [1976], с изменениями авторов)

Условные обозначения: 1 — мезозойско-кайнозойские отложения, 2 — палеозойские отложения Зилаирского мегасинклинория и Тирлянской синклинали, 3 — палеозойские отложения Магнитогорского мегасинклинория, 4 — аршинская свита Тирлянской синклинали, 5 — рифей Башкирского мегантиклинория, 6 — белекейская, акбиикская, укшук-арвякская и мазаринская свиты суванякского комплекса, 7 — миндякская, курташская и уткальская свиты суванякского комплекса, 8 — максютовский комплекс, 9 — палеозойские ультрабазиты, 10 — геологические границы, 11 — контур Новоусмановской площади, 12 — разрез углеродистых отложений по трассе Белорецк – Магнитогорск (вне масштаба), 13 — цифры в кружках: 1 — Главный Уральский разлом, 2 — Янтышевско-Юлукский разлом.

Fig. 1. Overview geological scheme of the Urals-Tau meganticlinorium (according to A.A. Alekseev [1976], with the authors' changes)

Legend: 1 — Meso-Cenozoic deposits, 2 — Paleozoic deposits of Zilair megasynclinorium and Tirlyan syncline, 3 — Paleozoic deposits of Magnitogorsk megasynclinorium, 4 — Arshinsky Formation Tirlyan syncline, 5 — Riphean of the Bashkirian meganticlinorium, 6 — Belekey, Akbiik, Ukshuk-Arvyak and Mazara Formations of the Suvaniak complex, 7 — Mindyak, Kurtash and Utkal suites of the Suvaniak complex, 8 — Maksutovo complex, 9 — Paleozoic ultrabasites, 10 — geological boundaries, 11 — Novousmanovsky sheet, 12 — a section of carbon deposits along the route Beloretsk – Magnitogorsk (beyond the scale), 13 — numbers in the circles: 1 — Main Uralian fault, 2 — Yantyshevo-Yuluk fault.

были проведены в период 1997–2009 гг. Проанализировано более 300 проб углеродистых сланцев различных возрастных уровней в пределах западного склона Южного Урала методом JCP-MS в АСИЦ ВИМС (г. Москва). Результаты, к сожалению, отрицательные. Содержания рения в них <0.006 г/т. Лишь в пределах Новоусмановской площади (центральная часть зоны Уралтау), где ранее нами получены высокие содержания молибдена, отмечены и аномальные значения рения.

Рассматриваемая территория, ранее известная как Новоусмановская площадь, расположена в бассейне рек Бетеря и Тупаргас (рис. 2). В тектоническом отношении она приурочена к зоне сочленения субмеридионального Западно-Уралтауского и широтного Бурзянского разломов и сложена преимущественно ордовикскими филлитовидными сланцами, кварцевыми песчаниками (акбиикская, белекейская свиты), а также силурийскими и девонскими кремнистыми, кремнисто-глинистыми, углеродисто-глинистыми сланцами, кварцито-песчаниками (тупаргасская, новоусмановская свиты, ибрагимовская толща) [Князев и др., 2008]. Породы интенсивно проработаны гидротермально-метасоматическими процессами и пронизаны многочисленными кварцевыми жилами и прожилками, в которых отмечена рассеянная сульфидная минерализация. В пределах некоторых поисковых участков, например Новоусмановского и Тупаргасского, сульфиды, представленные преимущественно пиритом, халькопиритом, халькозином, пирротином и сфалеритом, образуют довольно мощные (до 10–25 м) минерализованные зоны.

Интерес к данной территории возник после проведения здесь в конце 60-х годов геологосъемочных работ под руководством Д.Д. Криницкого. Было установлено, что в шлихах ряда притоков р. Бетеря (рр. Каркабар, Саптарульган, Бзаубаш, Турыелга, Уна, Язимбет, Тупаргас) (рис. 2) содержатся многочисленные знаки молибденита, а спектральный анализ штуфных проб из кварцевых прожилков показал присутствие молибдена в довольно значительном количестве — до 0.04–0.07%. В этих же пробах отмечен и вольфрам — до 0.1–0.5%. Кроме того, гидрохимические пробы, отобранные из левых притоков р. Тупаргас, показали высокое содержание в них молибдена — до 0.1 мг/л при фоне 0.0004 мг/л. Последующими работами [Радченко, 1997] в правых бортах рр. Бетеря и Салажи в кварцевых прожилках обнаружен молибденит в виде налетов, примазок, нитевидных прожилков и чешуек.

Эту вольфрам-молибденовую рудную минерализацию в пределах Новоусмановской площади авторы справедливо связывали с крупным, невскрытым эрозией, интрузивным телом кислого состава, отдельные части которого в виде штокообразных выходов обнажены на горе Артлыш к западу от д. Новоусманово, а также отмечены Б.М. Келлером [1966] южнее рассматриваемой территории (рис. 2). В целом вольфрам-молибденовая минерализация В.В. Радченко [1997] представлялась как верхняя часть медно-молибден-порфировой рудной системы.

Результаты собственных исследований

Проведенные нами исследования позволили на основе собственного аналитического материала, полученного количественными методами, конкретизировать и расширить перспективы площади на редкие металлы и рений.

В пределах южной части Новоусмановской площади широко развиты кварцевые жилы, которые концентрируются в пределах многочисленных жильных полей, приуроченных к тектонической зоне сочленения Уралтауского поднятия и Зилаирского прогиба. Наиболее полно кварцево-жильная минерализация обнажена в долинах правых притоков р. Бетери — ручьях Турыелга, Бзаубаш, Каркабар, Саптарульган, Тупаргас. Вмещающие породы представлены главным образом хлорит-серицит-кварцевыми, хлорит-серицитовыми филлитовидными сланцами с прослоями алевролитов, кварцитов и углеродисто-глинистых сланцев, относимыми к белекейской свите.

Большинство кварцевых жил имеет однообразное северо-восточное простирание, совпадающее с направлением сланцеватости вмещающих пород. По условиям залегания жилы можно подразделить на согласные или близкие к согласным, и секущие. Согласные жилы локализуются преимущественно в зонах послойного рассланцевания пород. Они имеют линзовидную форму, мощность 20–30 см и протяженность до нескольких метров. Для секущих жил характерны приуроченность к шарнирам антиклинальных складок и четко выраженное запад-северо-западное падение под углами от 20 до 70°. Среди них известны как маломощные прожилки (первые см) небольшой протяженности, так и довольно мощные (до 40 см) жилы, прослеженные по простиранию до 5–6 м.

Насыщенность жилами и мощность последних определяются исключительно степенью дисло-

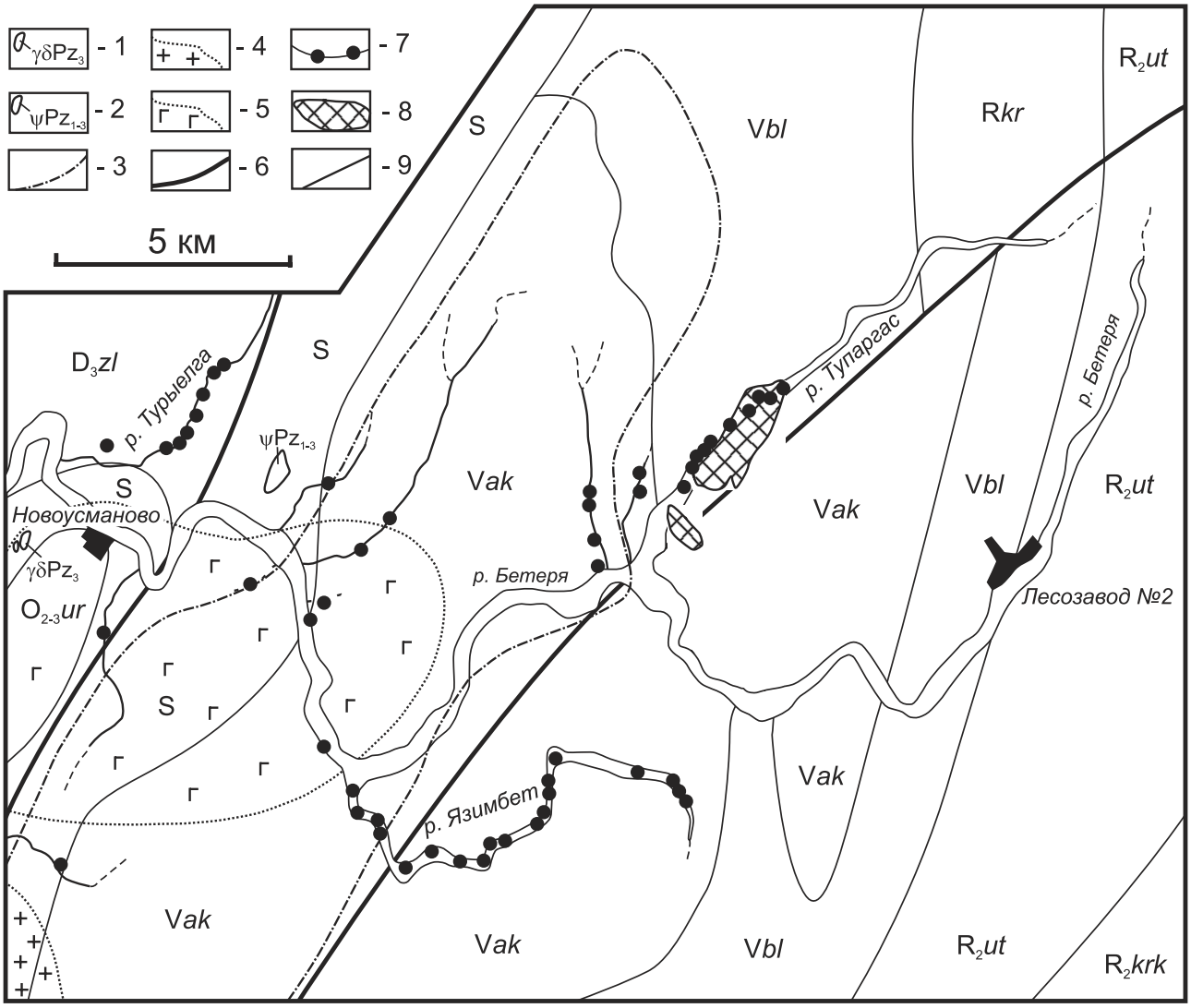


Рис. 2. Геологическое строение Новоусмановской площади (с использованием материалов В.В. Радченко[1997] и В.И. Козлова [2002])

Условные обозначения. Свиты: RF_2krk — кайраклинская свита: сланцы графит-кварцевые, графитистые кварциты; RF_2ut — уткальская свита: сланцы слюдяно-хлорит-плагиоклаз-кварцевые; RF*kr* — куртинская свита: сланцы графит-слюдяно-кварцевые, графитовые и слюдистые кварциты, амфиболиты; V*bl* — белекейская свита: сланцы филлитовидные, редкие прослои кварцито-песчаников; V*ak* — акбиикская свита: кварцито-песчаники, кварциты, филлитизированные алевролиты; $O_{2-3}ur$ — уразинская свита: кварцевые песчаники, глинистые алевролиты, конгломераты; S — нерасчлененные отложения: сланцы кремнистые, глинисто-кремнистые, песчаники, базальты, туфы; D_3zl — зилаирская свита: полимиктовые песчаники, алевролиты и конгломераты. 1 — гранодиориты (гранит-порфиры) Артлышского массива, 2 — ультрабазиты, 3 — зона локального повышения метаморфизма пород зеленосланцевой фации, 4 — контур предполагаемого на глубине гранитоидного интрузива, 5 — контур предполагаемой на глубине магматической интрузии основного состава, 6 — разломы, 7 — шлихи с молибденитом и молибденсодержащими зернами, 8 — металлометрические аномалии с содержанием молибдена $(3–7)\times10^{-4}$%, 9 — геологические границы.

Fig. 2. Geological structure of Novousmanovo area (using the materials of V.V. Radchenko [1997] and V.I. Kozlov [2002])

Legend. Formations: RF_2krk — Kairakli formation: graphite-quartz schists, graphite quartzites; RF_2ut — the Utkal Formation: schists of mica-chlorite-plagioclase-quartz; RF*kr* — Kurta Formation: shales graphite-mica-quartz, graphite and micaceous quartzites, amphibolites; V*bl* — the Belekey Formation: phyllite-like schists, rare intercalations of quartzite sandstones; V*ak* — Akbiik Formation: quartzite sandstones, quartzites, phyllitized siltstones; $O_{2-3}ur$ — Uraza Formation: quartz sandstones, clayey-siltstones, conglomerates; S — undivided sediments: siliceous, clayey-siliceous slates, sandstones, basalts, tuffs; D_3zl — Zilair Formation: polymictic sandstones, siltstones and conglomerates. 1 — granodiorites (granite-porphyry) of the Artlysh massif, 2 — ultrabasites, 3 — zone of local increase of metamorphism of the rocks of greenschist facies, 4 — contour of the supposed intrusion at the depth, 5 — contour of an assumed magmatic intrusion of basic composition at depth, 6 — faults, 7 — shlichs with molybdenite and molybdenum containing grains, 8 — metallometric anomalies with a molybdenum content $(3–7)\times10^{-4}$%, 9 — geological boundaries.

цированности вмещающих пород и интенсивностью развития в них складчато-разрывных структур. Наибольшие концентрации жил образуют на поверхности линейные штокверковые зоны шириной сотни метров и протяженностью первые километры.

Минеральный состав жил: кварц, полевой шпат, мусковит, хлорит, пирит, иногда галенит. Сульфиды почти всегда окислены или полностью выщелочены, полевые шпаты также подвержены интенсивному выветриванию, вследствие чего вмещающий их кварц приобретает ноздреватое или каркасно-ячеистое строение.

Наиболее перспективными представляются кварцевые и полевошпат-кварцевые прожилки и жилы. По минеральному составу выделяются следующие прожилки: 1) белого сливного кварца; 2) кварц-альбитовые; 3) серого сливного кварца (с хлоритом); 4) гематит(лимонит)-кварцевые; 5) пирит-серицит(?)-кварцевые. По набору минеральных ассоциаций они могут быть отнесены к кварц-полевошпатовым метасоматитам, пропилитам, образовавшимся при кислотном выщелачивании на постмагматическом этапе.

Нами проанализировано 18 проб на рений методом JCP-MS в ИГЕМ (г. Москва) и 77 проб на W и Mo спектрографическим методом в ВИМС (г. Москва) (табл. 1 и 2). Результаты анализа на W и Mo проб гематитизированного жильного кварца, кварцевых алевролитов с гидроокислами железа, гематитизированных черных сланцев показали следующее. В 8 пробах получены содержания W выше 0.01% и в 3 пробах — содержания Mo выше 0.005%. Максимальное значение для W составило 0.019%, а для Mo — 0.010%, что соответственно в 190 и 100 раз выше фоновых.

Для рения разброс содержаний составил от 0.6 до 4.6 г/т (среднее значение по 18 пробам — 1.74 г/т), что находится в пределах аномалии (>3.5 г/т) либо геохимического фона (0.2–3.5 г/т). Учитывая тот факт, что кларк Re в черных сланцах составляет около 0.5 г/г [Юдович, Кетрис, 1994], максимальные значения Re в углеродистых отложениях Новоусмановской площади почти в 10 раз превышают кларк.

Обобщенная модель жильно-штокверкового месторождения W-Mo рудной формации представлена на рис. 3, где показано, что на разных глубинных срезах развиты различные типы рудной минерализации [Методические..., 1988].

В надинтрузивной зоне преобладает прожилковый ее тип, в приконтактовой — вкрапленно-прожилковый, далее — жильно-прожилковый, который затем на глубоких горизонтах сменяется жильным типом оруденения. Наиболее богатая, но не занимающая больших объемов вольфрам-молибденовая минерализация развита в эндо- и экзоконтактовой части массива. Промышленно значимое оруденение обычно приурочено к надинтрузивной зоне и имеет вертикальный размах порядка 1 км. Выше по разрезу оно постепенно затухает. Гранитоиды г. Артлыш образовались в гипабиссально- приповерхностной фации [Радченко, 1997; Князев и др., 2008], и в данном конкретном случае мы имеем слабо эродированную рудно-магматическую систему с частично вскрытой W-Mo минерализацией. Подтверждается это и присутствием на Новоусмановской площади из околорудно-метасоматических изменений вмещающих пород только пропилитизации и березитизации и полным

Таблица 1

Содержания Re (г/т) в породах Новоусмановской площади по данным метода ICP-MS

Table 1

The contents of Re (g/t) in the rocks of the Novousmanovsky square according to the ICP-MS method

№№ п/п	№№ обр.	Re
1	НУ-98-112	1.30
2	НУ-98-114	2.10
3	НУ-98-115	0.64
4	НУ-98-117	1.20
5	НУ-98-118	0.73
6	НУ-98-126	1.00
7	НУ-98-132	2.30
8	НУ-98-135/1	2.60
9	НУ-98-353	2.10
10	НУ-98-355	2.10
11	НУ-98-356	4.60
12	НУ-98-357/1	4.60
13	НУ-98-357/2	0.20
14	НУ-98-359/1	1.20
15	НУ-98-360	0.61
16	НУ-98-362	0.19
17	НУ-98-363	1.80
18	НУ-98-364	2.00

Примечание: место отбора образцов 1 — р. Бетеря; 2–8, 14–18 — р. Тупаргас; 9–13 — р. Карасъелга. Каждая проба анализировалась дважды.

Note: sampling site 1 — r. Beterya; 2–8, 14–18 — r. Tupargass; 9–13 — r. Karasyelga. Each sample was analyzed twice.

Таблица 2

Содержания W и Mo (% мас.) в породах Новоусмановской площади по данным спектрографического анализа

Table 2

The contents of W and Mo (wt. %) in the Novousmanovsky sheet according to spectrographic analysis

№ п/п	N образца	W	Mo	№ п/п	N образца	W	Mo
1	Т-97-01	0.007	<0.002	40	НУ-97-139	0.007	<0.002
2	Т-97-1	0.004	0.0048	41	НУ-97-140	<0.004	0.004
3	Т-97-2	0.005	<0.002	42	НУ-97-142	<0.004	<0.002
4	Т-97-6	<0.004	<0.002	43	НУ-97-170	<0.004	0.002
5	Т-97-7	<0.004	<0.002	44	НУ-97-173	0.004	<0.002
6	Т-97-8	<0.004	<0.002	45	НУ-97-174	0.005	<0.002
7	Т-97-9	0.005	<0.002	46	НУ-97-175	**0.012**	<0.002
8	НУ-97-1/1	<0.004	<0.002	47	НУ-97-177	<0.004	<0.002
9	НУ-97-2	0.004	<0.002	48	НУ-97-184	<0.004	<0.002
10	НУ-97-4	**0.016**	<0.002	49	НУ-97-186	<0.004	0.004
11	НУ-97-5	**0.013**	0.002	50	НУ-97-179	0.007	<0.002
12	НУ-97-6/1	0.007	<0.002	51	НУ-97-180	<0.004	<0.002
13	НУ-97-8	0.007	<0.002	52	НУ-97-185	<0.004	<0.002
14	НУ-97-10	**0.019**	<0.002	53	НУ-97-211	<0.004	<0.002
15	НУ-97-11	<0.004	<0.002	54	НУ-97-212	<0.004	<0.002
16	НУ-97-12	<0.004	<0.002	55	НУ-97-213	<0.004	0.0032
17	НУ-97-13	0.007	<0.002	56	НУ-97-214	<0.004	<0.002
18	НУ-97-20	0.004	<0.002	57	НУ-97-215	<0.004	<0.002
19	НУ-97-21	<0.004	<0.002	58	НУ-97-216/6	0.005	<0.002
20	НУ-97-25	**0.009**	<0.002	59	НУ-97-217/3	<0.004	<0.002
21	НУ-97-26	<0.004	0.002	60	НУ-97-218	<0.004	0.002
22	НУ-97-27	0.004	0.0056	61	НУ-97-219/2	<0.004	<0.002
23	НУ-97-28	<0.004	<0.002	62	НУ-99-2/1	<0.004	0.0015
24	НУ-97-29	<0.004	<0.002	63	НУ-99-2/2	<0.004	0.0005
25	НУ-97-31	0.004	<0.002	64	НУ-99-2/3	<0.004	0.0028
26	НУ-97-35	**0.019**	<0.002	65	НУ-99-2/4	<0.004	0.0005
27	НУ-97-36	0.007	<0.002	66	НУ-99-2/5	<0.004	0.0006
28	НУ-97-112	<0.004	<0.002	67	НУ-99-2/6	<0.004	0.0010
29	НУ-97-113	0.004	0.010	68	НУ-99-2/7	<0.004	0.0003
30	НУ-97-113/1	<0.004	<0.002	69	НУ-99-2/8	<0.004	0.0010
31	НУ-97-119	**0.013**	0.004	70	НУ-99-3	<0.004	<0.0002
32	НУ-97-120/1	<0.004	0.002	71	НУ-99-9	<0.004	<0.0002
33	НУ-97-121/1	<0.004	<0.002	72	НУ-99-11	<0.004	<0.0002
34	НУ-97-125/2	**0.012**	<0.002	73	НУ-99-12	<0.004	<0.0002
35	НУ-97-126	<0.004	<0.002	74	НУ-99-14	<0.004	<0.0002
36	НУ-97-129	<0.004	<0.002	75	НУ-99-28	<0.004	<0.0002
37	НУ-97-131	<0.004	0.004	76	НУ-99-31	<0.004	<0.0002
38	НУ-97-133	<0.004	<0.002	77	НУ-99-36	<0.004	<0.0002
39	НУ-97-135	<0.004	<0.002				

Примечание: место отбора образцов 1–7, 26, 27, 43–45 — р. Турыелга; 8–17 — карьер, устье р. Турыелга; 18, 19, 31–39, 46–49 — р. Саптарульган; 20–25 — р. Бзяубаш; 28–30, 50–52 — р. Каркабар; 40–42 — р. Салажи; 53–61 — р. Бетеря; 62–70 — р. Тупаргас; 71–74 — р. Бетеря (у д. Новоусманово); 75–77 — р. Уна.

Note: the sampling sites are 1–7, 26, 27, 43–45 — r. Turyelga; 8–17 — quarry, the mouth of the river Turyelga; 18, 19, 31–39, 46–49 — r. Saptarulgan; 20–25 — r. Bzyubash, 28–30, 50–52 — r. Karkabar; 40–42 — r. Salazhi; 53–61 — r. Beterya; 62–70 — r. Tupargass; 71–74 — r. Beterya (near the village of Novousmanovo); 75–77 — the river Una.

отсутствием продуктов грейзенизации и калишпатизации, обычно развитых в нижних частях рудно-магматической колонны.

Кроме W-Mo минерализации в гематитизованном жильном кварце, кварцевых алевролитах с гидроокислами железа отмечены содержания платиноидов до 2 г/т, среди которых основное место занимает Pd (до 1.8 г/т). Из 18 анализов на ЭПГ (ИГЕМ, ICP-MS) 6 имеют результаты более 1 г/т Pd, среднее его содержание — 0.65 г/т. Наиболее высокое содержание Pt составляет 0.36 г/т, а в среднем — 0.08 г/т. Остальные элементы платиновой

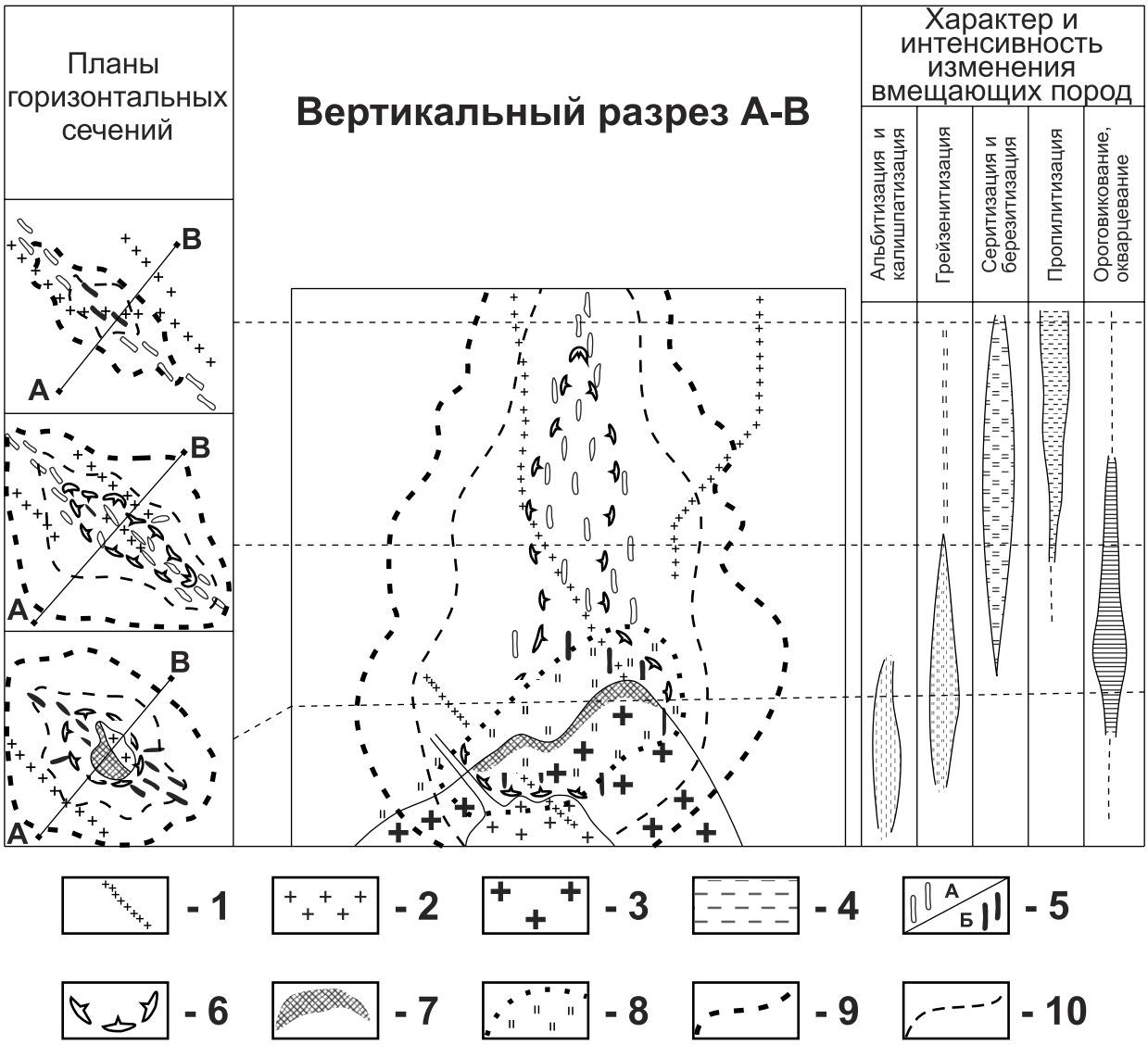


Рис. 3. Обобщенная модель жильно-штокверкового вольфрамового месторождения молибдено-вольфрамовой рудной формации [Методические..., 1988]

Условные обозначения: 1 — дайки гранит-порфиров; 2 — граниты лейкократовые, мелкозернистые, поздней фазы; 3 — граниты лейкократовые средне-крупнозернистые, ранней фазы; 4 — вмещающие породы, серицитизированные и пропилитизированные; 5 — рудные тела: а — прожилкового, б — жильно-прожилкового типов; 6 — контур продуктивной части штокверка; 7 — прикровельная грейзеновая залежь с вкрапленным типом оруденения; 8 — грейзенизация вмещающих пород; 9–10 — комплексные геохимические ореолы повышенных продуктивностей: 9 — меди, свинца и цинка; 10 — молибдена, висмута, вольфрама.

Fig. 3. Generalized model of vein-stockwork tungsten deposit of molybdenum-tungsten ore formation [Methodical..., 1988]

Legend: 1 — dikes of granite-porphyry; 2 — granite leucocratic, fine-grained, late phase; 3 — granite leucocratic medium-coarse-grained, early phase; 4 — host rocks, sericitized and propylitized; 5 — ore bodies: a — vein; б — vein-veinlet types; 6 — the contour of the productive part of the stockwork; 7 — a near-roof greisen deposit with impregnated type of mineralization; 8 — greisenization of host rocks; 9–10 — complex geochemical aureoles of increased productivity: 9 — copper, lead and zinc; 10 — molybdenum, bismuth, tungsten.

группы не поднимаются выше 0.08 г/т. Объяснение пространственному совмещению столь разнотипной минерализации на Новоусмановской площади возможно лишь с привлечением механизма ремобилизации Pd и его переотложения из более ранних габбро-гипербазитовых тел, скрытых на глубине. В качестве последних может служить Бзаубашский гипербазитовый массив, обнаженный в правом борту одноименного ручья (рис. 2). Подобное пространственное совмещение платиноидной и редкометальной минерализации не является специфической особенностью только Новоусмановской площади. Аналогичная ситуация отмечена на ряде редкометальных проявлений Оемкинского рудного узла (Сихотэ-Алинь) [Молчанов и др., 2000] и на Полярном Урале [Тарбаев и др., 1996].

Выводы

Новоусмановская площадь обладает высокими перспективами на вольфрам, молибден и рений и в ее пределах должны быть проведены дальнейшие поисково-разведочные работы. Предварительно данная W-Mo-Re рудная минерализация может быть отнесена к жильному типу и генетически связана с залегающей на глубине интрузией кислого состава, апофизы которой отмечены в непосредственной близости от вершины г. Артлыш и южнее. Установлено, что аномальные содержания перечисленных металлов приурочены к магматически активизированной части Западно-Уралтауского разлома с характерными зонами повышенной сколовой трещиноватости, участками резких осложнений залегания осадочных толщ и широким развитием гидротермальной кварцево-жильной минерализации.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме № 0252-2017-0014.

Список литературы:

Алексеев А.А. Магматические комплексы зоны хребта Урал-Тау. – М.: Наука, 1976. – 170 с.

Анкинович С.Г., Анкинович Е.А. Рениево-молибдено-железо-марганцево-фосфорно-ванадиевая формация (углеродисто-марганцево-ванадиевый тип) // Металлогения Казахстана. – Алма-Ата, 1978. – С. 100–131.

Дистлер В.В., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. – 1996. – Т. 38, № 6. – С. 467–484.

Захаров О.А., Пучков В.Н. О тектонической природе максютовского комплекса зоны Уралтау: Препринт / Институт геологии Уфимского научного центра РАН. – Уфа, 1994. – 29 с.

Келлер Б.М. Вендский комплекс Урала // Советская геология. – 1966. – № 5. – С. 58–69.

Князев Ю.Г., Князева О.Ю., Каримов Т.Р. Государственная геологическая карта Российской Федерации, М 1:200000. 2-е изд. Сер. Южно Уральская. Лист N-40-XXVIII: Объяснительная записка. – Уфа, 2008. – 185 с.

Ковалев С.Г. Сложнодислоцированные углеродсодержащие породы западного склона Южного Урала // Доклады РАН. – 2004. – Т. 396, № 4. – С. 511–514.

Ковалев С.Г., Сначёв В.И., Высоцкий И.В., Рыкус М.В. О новом типе благороднометальной минерализации на западном склоне Южного Урала // Руды и металлы. – 1997. – № 6. – С. 27–33.

Козлов В.И. Геологическая карта Российской Федерации и сопредельной территории Республики Казахстан. N-40(41)-Уфа. М 1:1000000 (новая серия). – СПб: ВСЕГЕИ, 2002.

Козлов В.И., Пацков А.А. О тектонической природе максютовского комплекса зоны Уралтау // Тектоника и магматизм Южного Урала. – М.: Наука, 1974. – С. 121–129.

Коробейников А.Ф. Нетрадиционные золото-платиновые месторождения в черносланцевых толщах складчатых поясов и методы их выявления // Платина России. – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 2, Кн. 1. – С. 113–121.

Криницкий Д.Д., Криницкая В.М. Новые данные о стратиграфии метаморфических образований зоны Уралтау // Труды Южно-Уральского геологического управления. – 1958. – № 4 (6). – С. 33–36.

Маракушев А.А. Черносланцевые формации как показатель периодов катастрофического развития Земли // Платина России. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке. – М.: Геоинформмарк, 1999. – Т. 4. – С. 183–194.

Методические указания по применению рационального комплекса геолого-геохимических и геофизических методов при поисках и оценке месторождений вольфрама. – М.: ВИМС, 1988. – 63 с.

Митрофанов Г.А., Немеров В.К., Коробейников Н.К., Семейкина Л.К. Платиноносность позднедокембрийских углеродистых формаций Байкало-Патомского нагорья // Платина России. Проблемы развития МСБ платиновых металлов в XXI веке. – М.: Геоинформмарк, 1994. – Т. 1. – С. 150–154.

Молчанов А.П., Моисеенко В.Г., Хомич В.Г. Палладий-золото-редкоземельная минерализация Оемкинского рудного узла (Сихотэ-Алинь) // Доклады РАН. – 2000. – Т. 375, № 4. – С. 518–520.

Нечеухин В.М., Берлянд Н.Г., Пучков В.Н., Соколов В.Б. Глубинное строение, тектоника, металлогения Урала. – Свердловск: Изд-во УНЦ АН СССР, 1986. – 106 с.

Радченко В.В. Перспективы молибденового оруденения в бассейне рек Бетеря и Тупаргасс // Проблемы региональной геологии, нефтегазоносности, металлогении и гидрогеологии РБ. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1997. – С. 183–185.

Сначёв А.В., Кузнецов Н.С., Сначёв В.И. Черноозерское проявление золота первый объект на Южном Урале в угле-

родистых отложениях офиолитовой ассоциации // Доклады РАН. – 2011. – Т. 439, № 1. – С. 83–85.

Сначёв В.И., Муркин В.П. Новые данные по магматизму, метаморфизму и металлогении Кочкарской площади (Южный Урал): Препринт. – Уфа, 1989. – 23 с.

Сначёв В.И., Сначёв А.В. Закономерности размещения золоторудных проявлений в углеродистых отложениях Белорецкого метаморфического комплекса (Южный Урал) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. – 2014. – № 2. – С. 79–87.

Тарбаев М.Б., Кузнецов С.К., Моралев В.Г. Новый Au-Pd-й тип минерализации в Кожимском районе Приполярного Урала // Геология рудных месторождений. – 1996. – Т. 38, № 1. – С. 15–30.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. – Л.: Наука, 1988. – 272 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Элементы-примеси в черных сланцах. – Екатеринбург: УИФ Наука, 1994. – 304 с.

References:

Alekseyev A.A. Magmaticheskie kompleksy zony khrebta Ural-Tau [Magmatic complexes of the Ural-Tau Range]. M.: Nauka, 1976. 170 p. (In Russian).

Ankinovich S.G., Ankinovich E.A. Renievo-molibdeno-zhelezo-margantsevo-fosforno-vanadievaya formatsiya (uglerodisto-margantsevo-vanadievyi tip) [Renium-molybdenum-iron-manganese-phosphorus-vanadium formation (carbon-manganese-vanadium type)] // Metallogeniya Kazakhstana. Alma-Ata, 1978. P. 100–131 (In Russian).

Distler V.V., Mitrofanov G.L., Nemerov V.K. Formy nakhozhdeniya metallov platinovoi gruppy i ikh genezis v zolotorudnom mestorozhdenii Sukhoi Log (Rossiya) [Forms of Platinum Group Metals and their Genesis in the Sukhoi Log Gold Deposit (Russia)] // Geologiya rudnykh mestorozhdenii. 1996. T. 38, No 6. P. 467–484 (In Russian).

Keller B.M. Vendskii kompleks Urala [The Vendian complex of the Urals] // Sovetskaya geologiya. 1966. No 5. P. 58–69 (In Russian).

Knyazev Yu.G., Knyazeva O.Yu., Karimov T.R. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1:200000 [State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1: 200000]. 2-e Izd. Ser. Yuzhno Ural'skaya. Sheet N-40-XXVIII. Ob»yasnitel'naya zapiska. Ufa, 2008. 185 p. (In Russian).

Korobeinikov A.F. Netraditsionnye zoloto-platinovye mestorozhdeniya v chernoslantsevykh tolshchakh skladchatykh poyasov i metody ikh vyyavleniya [Non-traditional gold-platinum deposits in black shale strata of folded belts and methods for their detection] // Platina Rossii. M.: Geoinformmark, 1995. T. 2, Kn. 1. P. 113–121 (In Russian).

Kovalev S.G. Slozhnodislotsirovannye uglerodsoderzhashchie porody zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [Complexly dislocated carbonaceous rocks of the western slope of the Southern Urals] // Doklady RAN. 2004. T. 396, No 4. P. 511–514 (In Russian).

Kovalev S.G., Snachev V.I., Vysotskii I.V., Rykus M.V. O novom tipe blagorodnometal'noi mineralizatsii na zapadnom sklone Yuzhnogo Urala [On a new type of noble metal mineralization on the western slope of the Southern Urals] // Rudy i metally. 1997. No 6. P. 27–33 (In Russian).

Kozlov V.I. Geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii i sopredel'noi territorii Respubliki Kazakhstan. N-40(41)-Ufa. Masshtab 1:1000000 (novaya seriya) [Geological map of the Russian Federation and the adjacent territory of the Republic of Kazakhstan. N-40(41)-Ufa. Scale 1: 1000000 (new series)]. Sankt-Peterburg: VSEGEI, 2002 (In Russian).

Kozlov V.I., Patskov A.A. O tektonicheskoi prirode maksyutovskogo kompleksa zony Uraltau [On the tectonic nature of the Maksutov complex of the Urtaltau zone] // Tektonika i magmatizm Yuzhnogo Urala. M.: Nauka, 1974. P. 121–129. (In Russian).

Krinitskii D.D., Krinitskaya V.M. Novye dannye o stratigrafii metamorficheskikh obrazovanii zony Uraltau [New data on the stratigraphy of metamorphic formations of the Uraltau zone] // Trudy Yuzhno-Ural'skogo geologicheskogo upravleniya. 1958. No 4 (6). P. 33–36 (In Russian).

Marakushev A.A. Chernoslantsevye formatsii kak pokazatel' periodov katastroficheskogo razvitiya Zemli [Carbonaceous formations as an indicator of the periods of catastrophic development of the Earth] // Platina Rossii. Problemy razvitiya MSB platinovykh metallov v XXI veke. M.: Geoinformmark, 1999. T. 4. P. 183–194. (In Russian).

Metodicheskie ukazaniya po primeneniyu ratsional'nogo kompleksa geologo-geokhimicheskikh i geofizicheskikh metodov pri poiskakh i otsenke mestorozhdenii vol'frama [Methodical instructions for the application of a rational complex of geological, geochemical and geophysical methods in the search for and evaluation of Tungsten deposits]. M.: VIMS, 1988. 63 p. (In Russian).

Mitrofanov G.A., Nemerov V.K., Korobeynikov N.K., Semeykina L.K. Platinonosnost' pozdnedokembriyskikh uglerodistykh formatsiy Baikalo-Patomskogo nagor'ya [Platinum content of the Late Precambrian carbonaceous formations of the Baikal-Patom Upland] // Platina Rossii. Problemy razvitiya MSB platinovykh metallov v XXI veke. M.: Geoinformmark, 1994. T. 1. P. 150–154 (In Russian).

Molchanov A.P., Moiseenko V.G., Khomich V.G. Palladii-zoloto-redkozemel'naya mineralizatsiya Oemkinskogo rudnogo uzla (Sikhote-Alin') [Palladium-gold-rare-earth mineralization of the Oemkinsky ore cluster (Sikhote-Alin)] // Doklady RAN. 2000. T. 375, No 4. P. 518–520 (In Russian).

Necheukhin V.M., Berlyand N.G., Puchkov V.N., Sokolov V.B. Glubinnoye stroyeniye, tektonika, metallogeniya Urala [Deep structure, tectonics, metallogeny of the Urals]. Sverdlovsk: Izdatel'stvo UNTS AN SSSR, 1986. 106 p. (In Russian).

Radchenko V.V. Perspektivy molibdenovogo orudeneniya v basseine rek Beterya i Tupargass [Prospects of molybdenum mineralization in the basin of the rivers Beterya and Tupargass] // Problemy regional'noy geologii, neftegazonosnosti, metallogenii i gidrogeologii RB. Ufa: IG UNTS RAN, 1997. P. 183–185 (In Russian).

Snachev A.V., Kuznetsov N.S., Snachev V.I. Chernoozorskoye proyavleniye zolota pervyi ob"yekt na Yuzhnom Urale v uglerodistykh otlozheniyakh ofiolitovoy assotsiatsii [Chernoozerskoye manifestation of gold is the first object in the Southern Urals in the carbonaceous sediments of the ophiolitic association] // Doklady RAN. 2011. T. 439, No 1. P. 83–85 (In Russian).

Snachev V.I., Murkin V.P. Novye dannye po magmatizmu, metamorfizmu i metallogenii Kochkarskoy ploshchadi (Yuzhnyi Ural) [New data on magmatism, metamorphism and metallogeny of the Kochkarskaya area (Southern Urals)]: Preprint. Ufa, 1989. 23 p. (In Russian).

Snachev V.I., Snachev A.V. Zakonomernosti razmeshcheniya zolotorudnykh proyavleniy v uglerodistykh otlozheniyakh Beloretskogo metamorficheskogo kompleksa (Yuzhnyi Ural) [Regularities in the location of gold ore occurrences in carbonaceous deposits of the Beloretsk metamorphic complex (the South Urals)] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geologiya. 2014. No 2. P. 79–87 (In Russian).

Tarbayev M.B., Kuznetsov S.K., Moralev V.G. Novyi Au-Pd-y tip mineralizatsii v Kozhimskom raione Pripolyarnogo Urala [New Au-Pd type of mineralization in the Kozhimsky district of the Subpolar Urals] // Geologiya rudnykh mestorozhdeniy. 1996. T. 38, No 1. P. 15–30 (In Russian).

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Geokhimiya chernykh slantsev [Geochemistry of black shale]. L.: Nauka, 1988. 272 p. (In Russian).

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Elementy-primesi v chernykh slantsakh [Elements-impurities in black shale]. Yekaterinburg: UIF Nauka, 1994. 304 p. (In Russian).

Zakharov O.A., Puchkov V.N. O tektonicheskoi prirode maksyutovskogo kompleksa zony Uraltau [On the tectonic nature of the Maksutovo complex of the Urtaltau zone]: Preprint / Institut geologii Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN. Ufa, 1994. 29 p. (In Russian).

Сведения об авторах:

Сначёв Александр Владимирович, 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: SAVant@rambler.ru

Сначёв Владимир Иванович, 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: SAVant@inbox.ru

About the autrors:

Snachev Akexander Vladimirovich, 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: SAVant@rambler.ru

Snachev Vladimir Ivanovich, 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: SAVant@inbox.ru

УДК 551.72+553.9 (234.853) DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-6

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ ОТЛОЖЕНИЙ РИФЕЯ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ И ЮЖНОГО УРАЛА И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВЗАИМООТНОШЕНИЕ В ЗОНЕ СОПРЯЖЕНИЯ ПЛАТФОРМЕННЫХ И СКЛАДЧАТЫХ СТРУКТУР ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ МАТЕРИАЛАМ

© 2018 г. Н. Д. Сергеева, В. Н. Пучков, А. А. Ратов, О. В. Козлова

Реферат. Корреляция отложений рифея Волго-Уральской области и Южного Урала предпринята в связи с получением новых данных изотопно-геохронологических и стратиграфических исследований геологических разрезов обнажений и глубоких параметрических скважин в рассматриваемых регионах. Сходные черты состава и строения осадочных последовательностей складчатой области (Южный Урал) и авлакогенов (Волго-Уральская область) свидетельствуют о близких условиях формирования рассматриваемых образований и тесной связи осадочных бассейнов рифейского времени, что хорошо увязывается с материалами глубинного строения рассматриваемых регионов, полученными в результате анализа данных сейсморазведочных работ, проведенных трестом «Башнефтегеофизика» с целью изучения Предуральского краевого прогиба и западной части Уральской складчатой области.
Ключевые слова: рифей, венд, свита, стратиграфия, авлакоген, корреляция, Южный Урал, Волго-Уральская область

CORRELATION OF DEPOSITS OF THE RIPHEAN OF THE VOLGO-URALIAN AREA AND THE SOUTHERN URALS AND THEIR RELATIONSHIPS IN THE ZONE OF CONJUNCTION OF THE PLATFORM AND FOLDBELT STRUCTURES AFTER SEISMIC DATA

N. D. Sergeeva, V. N. Puchkov, A. A. Ratov, O. V. Kozlova

Abstract. The correlation of Upper Precambrian deposits in aulacogens of the Volgo-Uralian area and pericratonic basins of the Southern Urals is based on materials received in result of study of deep parametric boreholes in the regions under study. The comparable features of composition and structure of sedimentary successions of pericratonic basins (the Southern Urals) and aulacogens (Volgo-Uralian area) indicate at comparable conditions of formation of the sediments under discussion and a close connection of sedimentary basins of the Riphean time. It is well coordinated with the materials of deep structure of the regions under the study obtained by seismic works, fulfilled by the "Bashneftegeofizika" Trust with the aim of study of the Preuralian foredeep and the western part of the Uralian foldbelt.
Keywords: Riphean, Vendian, Formation, stratigraphy, correlation, Southern Urals, Volga-Ural area

Для цитирования: Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Ратов А.А., Козлова О.В. Стратиграфическая корреляция отложений рифея Волго-Уральской области и Южного Урала и их пространственное взаимоотношение в зоне сопряжения платформенных и складчатых структур по сейсмическим материалам // Геологический вестник. 2018. №2. С. 79–95. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-6.

For citation: Sergeeva N.D., Puchkov V.N., Ratov A.A., Kozlova O.V. Correlation of deposits of the Riphean of the Volgo-Uralian area and the Southern Urals and their relationships in the zone of conjunction of the platform and foldbelt structures after seismic data // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 79–95. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-6.

Введение

Изучение мощного осадочного комплекса отложений верхнего докембрия (рифея и венда) Волго-Уральской области (ВУО) и Южного Урала (рис. 1) имеет важное значение для познания закономерностей формирования крупных осадочных бассейнов в пределах авлакогенов и складчатых областей и оценки перспектив на поиски полезных ископаемых в отложениях этих структур. Успешному решению проблем формирования осадочных комплексов авлакогенов и складчатых областей способствует правильное понимание их стратиграфии.

Особая роль при межрегиональной стратиграфической корреляции рассматриваемых отложений принадлежит Региональным стратиграфическим схемам, которые в связи с получением новых геологических и, прежде всего, изотопно-геохронологических данных значительно усовершенствованы [Козлов, Пучков, 2006; Пучков и др., 2016, 2017; Сергеева, Пучков, 2016]. Выделенные по литолого-стратиграфическим, минералогическим, хемостратиграфическим, геохронологическим и др. признакам маркирующие горизонты (стратоны региональных схем) позволяют не только скоррелировать геологические разрезы рифейских отложений авлакогенов и складчатых областей, но и отразить особенности формирования осадков в зоне сопряжения структур (Русской плиты и Уральской складчатой области).

Региональные маркирующие горизонты

Согласно сводным литолого-стратиграфическим разрезам Южного Урала [Пучков и др., 2016, 2017] и ВУО [Сергеева, Пучков, 2016] в нижнем рифее выделены бурзянская и кырпинская серии соответственно (рис. 2).

Бурзянская серия в страторегионе Тараташского антиклинория включает айскую, саткинскую и бакальскую свиты, общая мощность отложений которых превышает 6 км [Козлов и др., 1989]. В Ямантауском антиклинории возрастные аналоги айской, саткинской и бакальской свит имеют некоторые отличительные особенности состава, строения и биостратиграфической характеристики и обособлены здесь в большеинзерскую, суранскую и юшинскую свиты (см. рис. 2Б). В бурзянской серии в качестве основного маркирующего горизонта выделена саткинская свита. Она сложена преимущественно доломитами и известняками, содержащими строматолиты и микрофитолиты I (нижнерифейского) комплекса, с прослоями и пачками глинистых и углеродисто-глинистых сланцев, часто известковистых, местами с микрофоссилиями нижнего рифея [Келлер и др., 1983; Козлов и др., 1989; Сергеев и др., 2010]. По изотопным данным верхний возрастной предел саткинской свиты контролирует среднерифейский интрузивный магматизм. Для габбродолеритов, прорывающих доломиты саткинской свиты на окраине г. Куса, получена ^{40}Ar-^{39}Ar датировка 1360±9 млн лет [Ernst et al., 2006]. Внедрение габбро Бердяушского массива в нижнерифейские осадочные толщи саткинской свиты произошло в период от 1410 до 1390 млн лет, согласно изотопным данным, полученным U-Pb методом (SHRIMP-II) по циркону и Sm-Nd — по валовым пробам, циркону и др. минералам [Краснобаев и др., 2011]. Для перекрывающих саткинскую свиту известняков бакальской свиты получен Pb-Pb возраст 1430±30 млн лет [Кузнецов и др., 2003], а для Главной бакальской дайки, прорывающей отложения бакальской сви-

→

Условные обозначения к рис. 1: 1 — границы структур первого порядка: I — восточная окраина Восточно-Европейской платформы (Волго-Уральская область, авлакогены: Б — Камско-Бельский, Г — Серноводско-Абдулинский), II — Предуральский краевой прогиб, III — Уральская складчатая система; 2 — границы структур второго порядка; 3 — основные тектонические разломы (цифры в треугольниках): 1 — Зильмердакский, 2 — Зюраткульский, 3 — Главный Уральский; 4 — региональные сейсмические профили; 5 — выступы пород кристаллического фундамента, своды: А — Красноуфимский, В — Татарский, Д — Оренбургский; 6 — местоположение скважины, ее номер и название разведочной площади; 7 — города. **Названия разведочных площадей:** АП — Азино-Пальниковская, Ар — Арланская, Ахм — Ахмеровская, Б — Бедряжская, ВА — Восточно-Аскинская, Кб — Кабаковская, Кпч — Кипчакская, Клг — Кулгунинская, Лз — Леузинская, МА — Мензелино-Актанышская, Ндж — Надеждинская, Шх — Шиханская, Шкп — Шкаповская.

Legend to fig. 1: 1 — boundaries of the first order structures: I — the eastern margin of the East European platform (Volgo-Uralian area, aulacogens: Б — Kama-Belsk, Г — Sernovodsk-Abdulino), II — Preuralian foredeep, III — Uralian foldbelt; 2 — boundaries of second order structures; 3 — main tectonic faults (numbers in triangles): 1 — Zilmerdak, 2 — Zuratkul, 3 — Main Uralian; 4 — regional seismic profiles; 5 — uplifts of the crystalline basement, arcs: А — Krasnoufimsk, В — Tatarian, Д — Orenburg; 6 — location of a borehole, its number, and name of the prospecting area; 7 — towns. **The names of prospecting areas:** АП — Azino-Palnikovsk, Ар — Arlan, Ахм — Akhmerovo, Б — Bedryazh, ВА — Vostochno-Askino, Кб — Kabakovo, Кпч — Kipchak, Клг — Kulgunino, Лз — Leuza, МА — Menzelino-Aktanysh, Ндж — Nadezhdino, Шх — Shikhan, Шкп — Shkapovo.

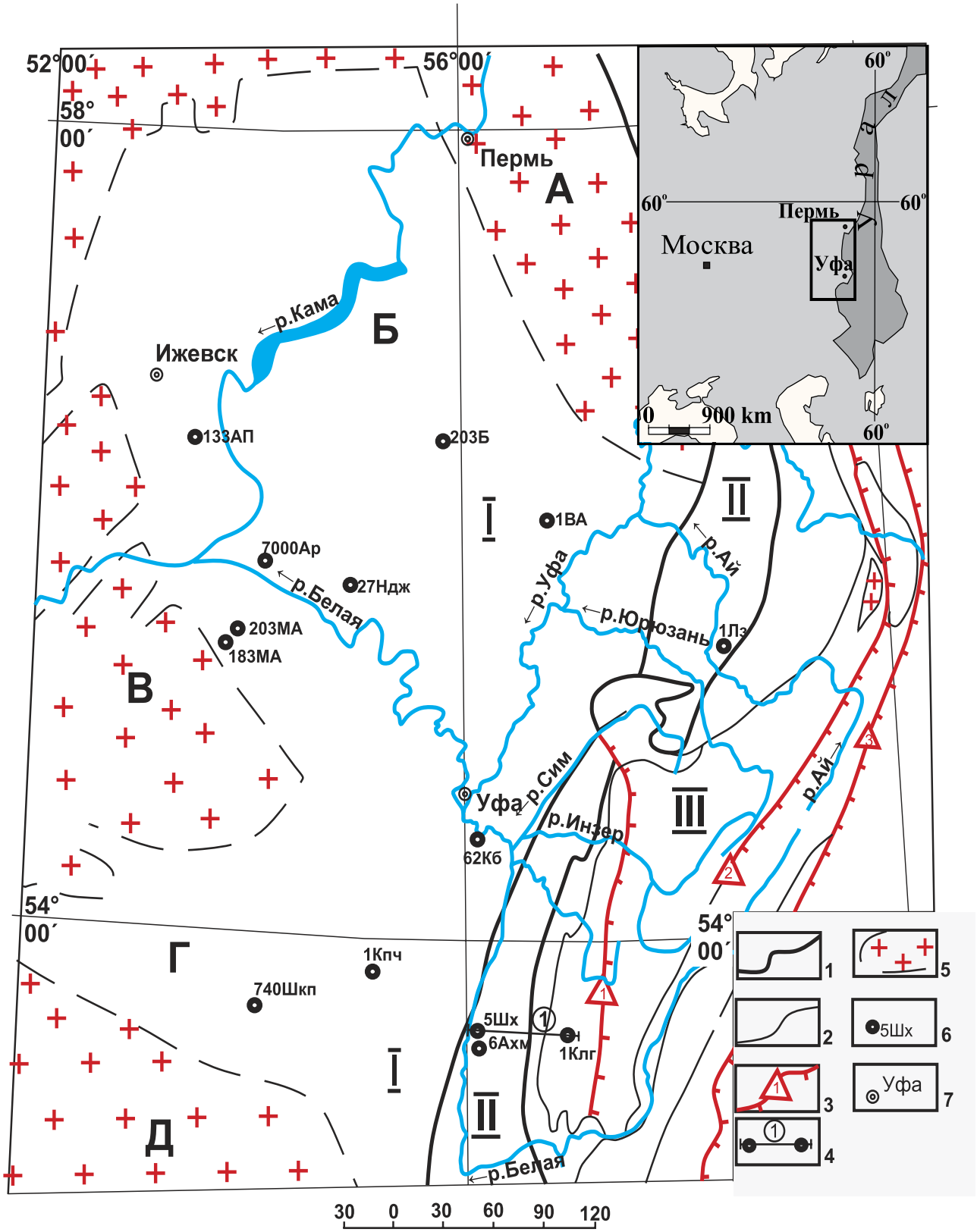
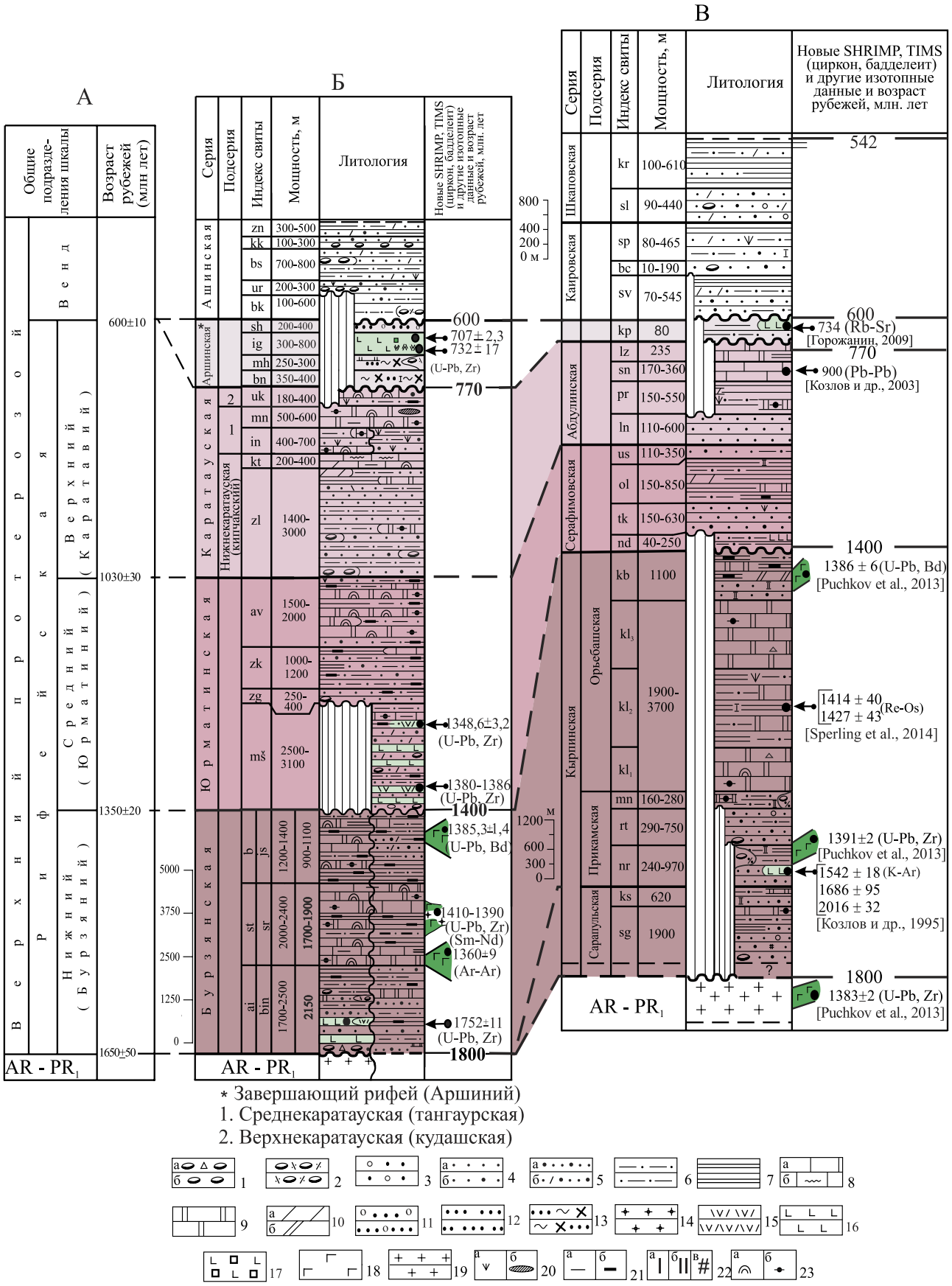


Рис. 1. Карта-схема основных структур Волго-Уральской области и Южного Урала и расположение скважин

Fig. 1. The schematic map of the main structures of the Volgo-Uralian area and Southern Urals, with location of boreholes


А
Б
В
Общие подразделения шкалы
Возраст рубежей (млн лет)
Серия
Подсерия
Индекс свиты
Мощность, м
Литология
Новые SHRIMP, TIMS (циркон, баддеелит) и другие изотопные данные и возраст рубежей, млн. лет
Венд
Верхний (Каратавский)
Средний (Юрматинский)
Нижний (Бурзянский)
Верхнерифейская
Верхнепротерозойская
Ашинская
Аршинская
Каратауская
Нижнекаратауская (кипчакский)
Юрматинская
Бурзянская
Шкаповская
Каировская
Абдулинская
Серафимовская
Кыршинская
Оръебашская
Прикамская
Сарапульская
600±10
1030±30
1350±20
1650±50
AR - PR1
600
770
1400
1800
707±2,3
732±17
(U-Pb, Zr)
1348,6±3,2
(U-Pb, Zr)
1380-1386
(U-Pb, Zr)
1385,3±1,4
(U-Pb, Bd)
1410-1390
(U-Pb, Zr)
(Sm-Nd)
1360±9
(Ar-Ar)
1752±11
(U-Pb, Zr)
542
734 (Rb-Sr)
[Горожанин, 2009]
900 (Pb-Pb)
[Козлов и др., 2003]
1386 ± 6(U-Pb, Bd)
[Puchkov et al., 2013]
1414 ± 40
1427 ± 43 (Re-Os)
[Sperling et al., 2014]
1391±2 (U-Pb, Zr)
[Puchkov et al., 2013]
1542 ± 18 (K-Ar)
1686 ± 95
2016 ± 32
[Козлов и др., 1995]
1383±2 (U-Pb, Zr)
[Puchkov et al., 2013]
* Завершающий рифей (Аршиний)
1. Среднекаратауская (тангаурская)
2. Верхнекаратауская (кудашская)

ты, был определен возраст (1385±1.4 млн лет) по бадделеиту [Ernst et al., 2006]. Изотопные датировки габбродолеритов, интрудирующих отложения саткинской и перекрывающей ее бакальской свит, а также Pb-Pb возраст известняков бакальской свиты надежно определяют возраст и стратиграфическую позицию саткинской и бакальской свит в составе бурзянской серии нижнего рифея.

Кырпинская серия, включающая сигаевскую, костинскую, норкинскую, ротковскую, минаевскую, калтасинскую и кабаковскую свиты, выделяется как основной этап развития Волго-Уральской области, в течение которого шло накопление терригенно-карбонатных осадков общей мощностью более 9 км (см. рис. 2).

Основной маркирующей толщей в осадочных комплексах верхнего докембрия Волго-Уральской области является калтасинская свита. Она сложена доломитами, меньше известняками, отмечаются редкие прослои аргиллитов, а в средней части разреза свиты (арланская подсвита) развиты полевошпат-кварцевые алевролиты и песчаники. Карбонатные породы содержат строматолиты и микрофитолиты I (нижнерифейского) комплекса, а аргиллиты — микрофоссилии нижнего рифея, аналогичные таковым из саткинской и бакальской свит стратотипических разрезов рифея Южного Урала. Кровля и подошва калтасинской свиты являются прекрасными отражающими горизонтами (ОГ) при проведении геофизических работ МОГТ (соответственно III и IV ОГ), дополнительными ОГ являются кровля и подошва средней (арланской) подсвиты (соответственно IV_a и IV_c ОГ). По составу, структурно-текстурным особенностям и характерному внешнему облику карбонатные породы калтасинской свиты образуют единое сложно построенное геологическое тело, прослеживаемое в Камско-Бельском и Серноводско-Абдулинском авлакогенах ВУО. Для аргиллитов арланской подсвиты калтасинской свиты в скважине 203 Бедряжская (Камско-Бельский авлакоген) были получены Re-Os изотопные датировки (1414±40 млн лет и 1427±43 млн лет [Sperling et al., 2014]), подтверждающие раннерифейский возраст калтасинской свиты. C- и Sr- хемостратиграфические исследования карбонатных пород калтасинской свиты по скважинам 133 Азино-Пальниковская и 203 Бедряжская показали, что хемостратиграфические профили калтасинской свиты резко отличаются от таковых для верхов среднерифейских и для верхнерифейских отложений Южного Урала, но близки к значениям, зарегистрированным в отложениях более древних, чем 1300 млн лет [Кей и др., 2007], что согласуется с Re-Os изотопными датировками аргиллитов калтасинской свиты [Sperling et al., 2014].

Таким образом, калтасинская свита — основной маркирующий горизонт кырпинской серии, по стратиграфическому положению, составу, биостратиграфической характеристике и имеющимся изотопным датировкам уверенно сопоставляется с саткинской и ее возрастным аналогом — суранской свитой нижнего рифея стратотипических разрезов Башкирского мегантиклинория на Южном Урале.

Подстилающие калтасинскую свиту отложения прикамской подсерии (разнозернистые полевошпат-кварцевые, субаркозовые и аркозовые

←

Рис. 2. Общие подразделения Стратиграфической шкалы верхнего докембрия России [Семихатов и др., 1991, Стратиграфический кодекс..., 2006] (А) и Сводные литолого-стратиграфические колонки верхнедокембрийских образований Южного Урала (Б) и Волго-Уральской области (В) [Пучков и др., 2016, 2017; Сергеева, Пучков, 2016]

Условные обозначения: 1 — конгломерато-брекчии (а), конгломераты (б); 2 — тиллиты и тиллоиды; 3 — гравелиты; 4–5 — песчаники: 4 — кварцевые (а) и полевошпат-кварцевые (б), 5 — аркозовые (а) и полимиктовые (б); 6 — алевролиты; 7 — аргиллиты; 8 — известняки (а) и струйчатые известняки (б); 9 — доломиты; 10 — мергели: известковистые (а) и доломитовые (б); 11 — гравийные кварцито-песчаники; 12 — кварцито-песчаники и кварциты; 13 — слюдисто-хлорито-кварцевые сланцы; 14 — граниты; 15 — риолиты и риодациты; 16 — метабазальты; 17 — метабазальтовые порфириты; 18 — габбродолериты; 19 — породы кристаллического фундамента; 20–22 — характеристика породы: 20 — глауконит (а) и кремни (б), 21 — глинистость (а) и углеродистость (б), 22 — кальцитизация (а), доломитизация (б) и ангидритизация (в); 23 — палеонтологические остатки: строматолиты (а) и микрофитолиты (б).

Fig. 2. The main subdivisions of the Stratigraphic Scale of Precambrian of Russia [Semikhatov et al., 1991; Stratigraphic Code..., 2006] (A), and Generalized lithologic-stratigraphic columns of the Upper Precambrian deposits of the Southern Urals (Б) and Volgo-Uralian area (B) [Puchkov et al., 2016, 2017; Sergeeva, Puchkov, 2016]

Legend: 1 — conglomerate-breccias (a) and feldspar-quartz (б); 2 — tillites and tilloids; 3 — gravelstones; 4 — quartz (a) and feldspar-quartz (б); 5 — arkozic (a) and polymictic (б); 6 — siltstones; 7 — shales; 8 — limestones (a) and laminar limestones (б); 9 — dolomites; 10 — marls: calcareous (a) and dolomitic (б); 11 — gravel quartz sandstones; 12 — quartzite-sandstones and quartzites; 13 — mica-chlorite-quartz schists; 14 — granites; 15 — rhyolites and rhyodacites; 16 — metabasalts; 17 — metabasalt porphyrites; 18 — gabbrodolerites; 19 — rocks of the crystalline basement; 20–22 — rock characteristics: 20 — glauconite (a), and cherts (б), 21 — argillaceous (a) and carbonaceous (б), 22 — calcitization (a), dolomitization (б) and anhydritization (в); 23 — paleontological remains stromatolites (a) and microphytolites (б).

песчаники и алевролиты с подчиненными прослоями аргиллитов, доломитов и мергелей) в объеме норкинской, ротковской и минаевской свит сочтены нами аналогами айской свиты (см. рис. 2). Правомерность отнесения докалтасинской части разреза к нижнему рифею в Камско-Бельском авлакогене подтверждено изотопной датировкой 1391±2 млн лет (U-Pb метод, SHRIMP-II) по циркону [Puchkov et al., 2013] из габбродолеритовой дайки, прорывающей отложения норкинской свиты в скважине 183 Мензелино-Актанышская (интервал глубин 2222.2–2230.4 м). Для базальтов, вскрытых на забое в скважине 203 Мензелино-Актанышская, были получены K-Ar датировки (1542±18 млн лет по породе, 2016±32 млн лет по фракциям альбита и олигоклаза и 1686±95 млн лет по плагиоклазу [Козлов и др., 1995]). Две датировки оказались значительно древнее нижней границы рифея, принятой в Общей шкале докембрия России в 1650±50 млн лет [Стратиграфический кодекс..., 2006], поэтому базальты на забое в скв. 203 Мензелино-Актанышская первоначально были отнесены к нижнему протерозою [Козлов и др., 1995]. Однако SHRIMP-датировка 1752±11 млн лет по циркону из базальтов айской свиты стратотипа рифея [Краснобаев и др., 2013а] привела к удревнению (1800 млн лет [Пучков и др., 2013]) нижней возрастной границы айской свиты и всего рифея Южного Урала. Новая датировка позволяет базальтоидный вулканизм в условном временном интервале 1542–1686 млн лет в Камско-Бельском авлакогене сопоставить с вулканизмом айского времени, а базальты, вскрытые на забое в скв. 203 Мензелино-Актнышская, отнести к норкинской свите нижнего рифея. Следует признать, что K-Ar датировки базальтов, вскрытых скв. 203 Мензелино-Актанышская, нуждаются в уточнении современными изотопно-геохронологическими методами.

Кабаковская свита, завершающая разрез кырпинской серии, распространена в восточной части Камско-Бельского авлакогена, где она вскрыта в скважинах 1 Кипчакская, 62 Кабаковская и 1 Восточно-Аскинская. Наиболее представительный разрез кабаковской свиты, предложенный [Козлов и др., 2007] в качестве гипостратотипического, получен в скважине 1 Восточно-Аскинская, где она сложена неравномерным чередованием аргиллитов, песчаников и алевролитов полевошпат-кварцевых, аркозовых и кварцевых, доломитовых мергелей и доломитов; в основании отмечаются кварц-доломитовые песчаники. Кабаковская свита с подстилающей калтасинской свитой связана постепенным переходом [Козлов и др., 2007]. U-Pb датировка 1386±6 млн лет бадделеита из долеритов, рвущих отложения кабаковской свиты в скважине 1 Восточно-Аскинская [Puchkov et al., 2013], определяет ее верхний возрастной предел и положение в разрезе нижнего рифея ВУО, что позволяет сопоставить кабаковскую с бакальской свитой нижнего рифея уральского стратотипа.

Сходные черты состава и строения осадочных последовательностей складчатой области (бурзянская серия) и авлакогена (кырпинская серия) свидетельствуют о близких условиях формирования отложений и тесной связи бассейнов осадконакопления в раннерифейское время в указанных регионах.

Отложения юрматинской (Южный Урал) и серафимовской (ВУО) серий среднего рифея имеют значительные различия в составе и мощности слагающих пород (см. рис. 2).

В юрматинской серии выделены машакская, зигальгинская, зигазино-комаровская и авзянская свиты, общая мощность отложений которых более 6.5 км. Основным маркирующим горизонтом является зигальгинская свита, сложенная преимущественно кварцевыми песчаниками, часто кварцитовидными, кварцитами, подчинены прослои и пачки алевролитов и глинистых сланцев нередко углеродистых, присутствуют линзы конгломератов. С подстилающей машакской свитой зигальгинская связана постепенным переходом, а при отсутствии образований машакской свиты зигальгинская является базальной для юрматинской серии. Датировки 1380–1386 млн лет по циркону (U-Pb метод: SHRIMP-II и CA-ID-TIMS) из вулканитов машакской свиты [Пучков и др., 2009; Краснобаев и др., 2013б; Puchkov et al., 2013] определяют нижний возрастной предел зигальгинской свиты и ее стратиграфическое положение в разрезе рифея Южного Урала. Имеются данные изотопной хемостратиграфии по авзянской свите, полученные американскими исследователями при нашем содействии [Bartley et al., 2007]. По поведению изотопов углерода сделан вывод, что характер изотопной кривой наиболее схож с группой Дизмал Лейкс Арктической Канады; это указывает на то, что авзянская свита формировалась во время мезопротерозойского изотопного изменения и может иметь возраст около 1270 млн лет. Данные по изотопам стронция 0.70587 также не противоречат отнесению авзянской свиты к относительно поздней эпохе мезопротерозоя (верхней половине среднего рифея).

Для серафимовской серии, включающей преимущественно терригенные образования надеждинской, тукаевской, ольховской и усинской свит общей мощностью около 2 км, маркирующей является тукаевская свита, представленная песчаниками кварцевыми, редко полевошпат-кварцевыми и аркозовыми, с редкими прослоями алевролитов и аргиллитов. В большей части разрезов скважин тукаевская свита залегает на размытой поверхности подстилающих нижнерифейских образований. По стратиграфическому положению и особенностям состава тукаевская свита сопоставляется с зигальгинской свитой стратотипа рифея. Корреляция зигальгинской и тукаевской свит и перекрывающих их отложений проводится с учетом положения этих свит в разрезе. Для обоснования возраста серафимовской серии среднего рифея ВУО имеются K-Ar датировки по аутигенному глаукониту (1257 и 1297 млн лет) и серициту (1232 и 1252 млн лет) из основания тукаевской свиты [Келлер и др., 1983]. Верхний возрастной предел образований серафимовской серии контролируется данными (1051, 1148 млн лет и др. [Келлер и др., 1983]) возраста даек габброидов, прорывающих отложения тукаевской, ольховской и усинской свит, что позволяет отнести серию к среднему рифею. Других изотопно-геохронологических данных для отложений серафимовской серии пока нет из-за отсутствия надежных объектов для датирования современными методами.

В верхнем рифее каратауская (Южный Урал) и абдулинская (ВУО) серии, аналогично подстилающим образованиям, имеют достаточно резкие отличия в мощности (более 5 км в уральском разрезе и менее 2 км в ВУО) и составе отложений. В каратауской серии выделены (снизу): зильмердакская, катавская, инзерская, миньярская и укская свиты. В качестве маркеров рассматриваются терригенные отложения зильмердакской (особенно кварцевые песчаники лемезинской подсвиты), известняки катавской и доломиты миньярской свит.

Одним из лучших маркирующих горизонтов верхнего рифея Южного Урала является катавская свита. Особенности состава ее: преобладание пестроцветных известняков и их глинистых разностей, характерная тонкая ленточная слоистость, присутствие строматолитов и микрофитолитов III (верхнерифейского) комплекса, наличие «струйчатых» (струйчатость обусловлена неравномерным распределением глинистого материала в виде струй, ориентированных параллельно слоистости) известняков и др., позволяют достаточно уверенно выделять возрастные аналоги катавской свиты в разобщенных геологических разрезах. Для катавских известняков известна K-Ar датировка по глаукониту 938 млн лет [Келлер и др., 1983].

В составе абдулинской серии выделены (снизу): леонидовская, приютовская, шиханская и леузинская свиты. Основными маркирующими горизонтами при межрегиональной корреляции допалеозойских осадочных комплексов служат кварцевые песчаники леонидовской свиты и известняки шиханской свиты. По составу, структурно-текстурным особенностям, внешнему облику (наличию «струйчатости») известняки шиханской свиты совершенно аналогичны известнякам катавской свиты стратотипических разрезов верхнего рифея Южного Урала. Данные хемостратиграфических реконструкций (изохроны сравнения в координатах $^{207}Pb/^{204}Pb$, $^{206}Pb/^{204}Pb$ для известняков шиханской и катавской свит) и геохронологического датирования (приблизительная оценка Pb-Pb возраста равна 900 млн лет, близка к K-Ar датировке глауконита из катавской свиты [Козлов и др., 2003]) позволяют считать шиханскую и катавскую свиты одновозрастными.

Резкое сокращение мощности отложений серафимовской и абдулинской серий и подчиненное количество в составе осадков карбонатных пород свидетельствуют о значительном сокращении площади осадочных бассейнов в авлакогенах ВУО в среднем и верхнем рифее в сравнении с отложениями это возраста на Южном Урале.

Корреляция отложений среднего и верхнего рифея рассматриваемых регионов в основном базируется на литолого-стратиграфических признаках. И только в завершающую стадию рифея на Южном Урале и в ВУО выявлен событийно-стратиграфический уровень, связанный с проявлением базальтоидного вулканизма: базальты с возрастом 707–732 млн лет [Козлов и др., 2011] игонинской и 734 млн лет [Горожанин, 2009] кипчакской свит. Это геологическое событие служит в качестве опорного хронологического репера для временной корреляции стратонов завершающего рифея Южного Урала и Волго-Уральской области.

Несмотря на особенности в составе, строении и мощности отложений авлакогенов и складчатой области допалеозойские осадочные комплексы Волго-Уральской области обнаруживают стратиграфическое подобие с типовыми разрезами верхнего докембрия Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Рассматриваемые отложения обладают сходной последовательностью основных маркиру-

ющих толщ: доломитов калтасинской и саткинской свит, карбонатно-терригенных отложений кабаковской и бакальской свит в нижнем рифее, песчаников тукаевской и зигальгинской свит среднего рифея. По составу, структурно-текстурным и хемостратиграфическим особенностям известняки шиханской свиты ВУО совершенно аналогичны известнякам катавской свиты верхнего рифея Южного Урала [Козлов и др., 2003]. Новый событийно-стратиграфический уровень, связанный с проявлением базальтоидного вулканизма в завершающую стадию рифея, позволил уточнить стратиграфическое положение осадочно-вулканогенных образований кипчакской свиты в разрезе рифея Волго-Уральской области.

Такая корреляция основных маркирующих толщ верхнего докембрия Волго-Уральской области и Южного Урала подтверждается результатами определений изотопного возраста циркона и бадделеита из вулканогенных и интрузивных магматических образований, глауконита и иллита осадочных отложений, материалами хемостратиграфических исследований карбонатных пород и другими данными. Однако вопросы о характере взаимоотношения комплексов в зоне сочленения авлакогенов и складчатой области остаются не решенными.

Зона сопряжения авлакогенов ВУО и складчатой зоны Южного Урала

Существенные дополнения и изменения в представления о геологическом строении зоны сочленения востока Русской плиты и западного склона Уральской складчатой области в верхнем докембрии внесли материалы, полученные по результатам бурения глубоких параметрических скважин 1 Кулгунинская и 1 Восточно-Аскинская и сейсморазведочных работ, выполненных в разные годы трестом «Башнефтегеофизика» (ныне ОАО «Башнефтегеофизика»).

Параметрическая скважина 1 Кулгунинская была заложена в 1976 г. на северной окраине села Кулгунино в Кулгунинской синклинали на западном крыле Алатауского антиклинория (Башкирский мегантиклинорий, Южный Урал). В задачи бурения скважины входило изучение тектонического строения района, получение литолого-фациальной и геолого-геофизической характеристики разреза и нефтегазоносности отложений. Проектная глубина скважины — 7000 м, а на глубине 5000–5500 м предполагалось под карбонатными породами нижнего рифея вскрыть поднадвиговые палеозойские толщи. Бурение было прекращено в 1983 г. на глубине 5154 м из-за несоответствия вскрываемого разреза геологическим условиям, заложенным в проекте. Впервые литолого-стратиграфическое расчленение и корреляция отложений разреза скважины 1 Кулгунинская с аналогичными образованиями, вскрытыми в Камско-Бельском авлакогене скважиной 62 Кабаковская, было проведено коллективом авторов: Ю.В. Андреев, Т.В. Иванова, Б.М. Келлер, Н.Н. Лисовский, С.Г. Морозов, И.А. Тагиров, Т.В. Янкаускас [Андреев и др., 1981]. В скважине 1 Кулгунинская были выделены отложения старосаитовской (интервал глубин 4696–5154 м) и юшинской (интервал глубин 3140–4696 м) свит нижнего рифея, зигальгинской (интервал глубин 2707–3140 м), зигазино-комаровской (интервал глубин 2473–2707 м) и кулгунинской (интервал глубин 1243–2473 м) свиты среднего рифея, зильмердакской (интервал глубин 620–1243 м) и катавской (от устья скважины до 620 м) свит верхнего рифея (рис. 3). При стратиграфическом расчленении отложений цитируемыми авторами была использована Уральская схема стратиграфии, но при этом были выделены новые старосаитовская (доюшинская) и кулгунинская (дозильмердакская) свиты [Андреев и др., 1981], состав которых резко отличался от одновозрастных отложений стратотипических разрезов Южного Урала в пересечении к востоку от Кулгунинской скважины.

В параметрической скважине 1 Восточно-Аскинская, пробуренной в 2003 г. на северо-восточном борту Камско-Бельского авлакогена, в интервале глубин 1893–5000 м (забой) выделены отложения (снизу): калтасинской и кабаковской

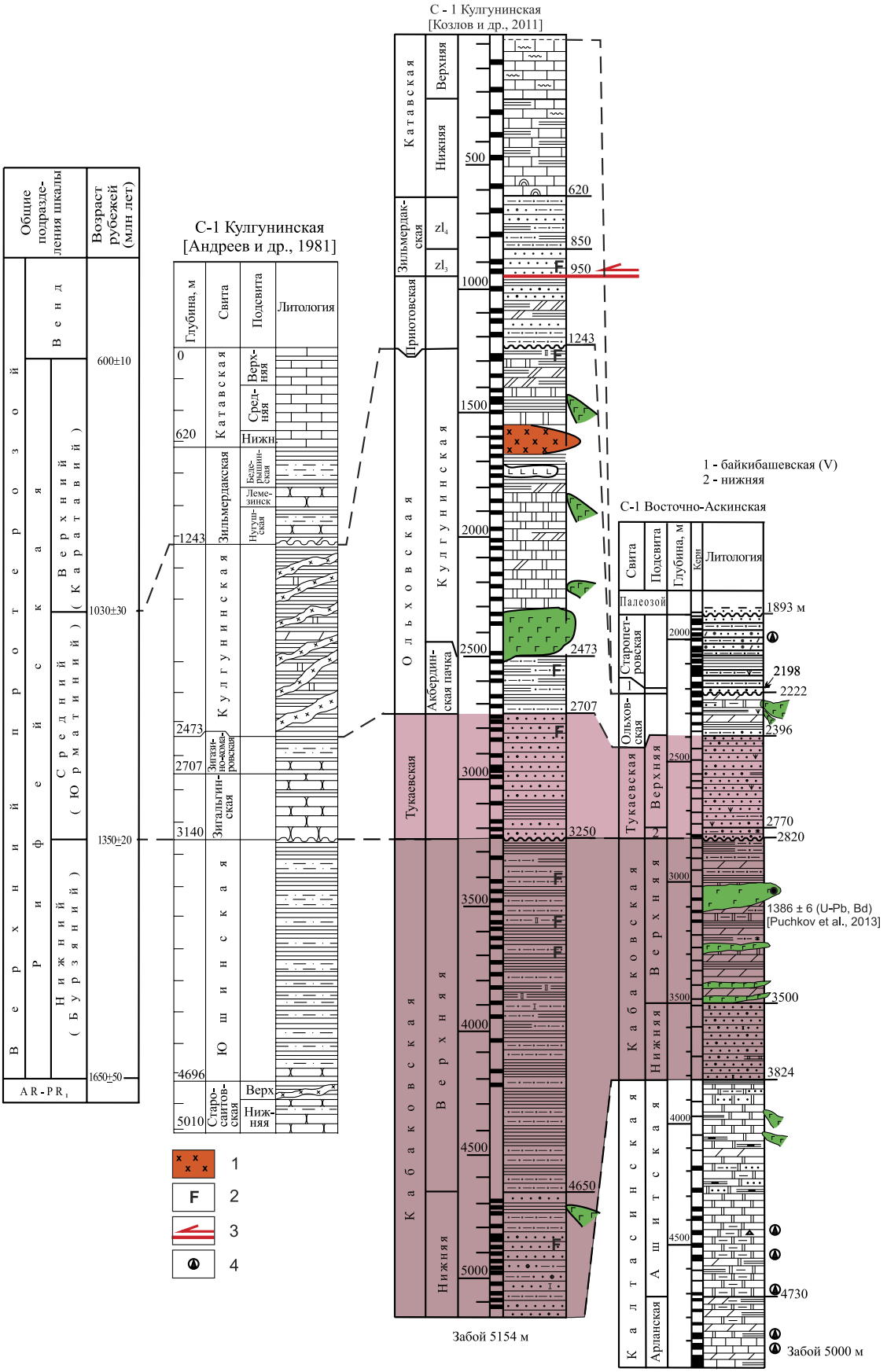
→

Рис. 3. Сопоставление разрезов верхнедокембрийских отложений, вскрытых скважинами 1 Кулгунинская и 1 Восточно-Аскинская

Условные обозначения: 1— габбро-сиениты и сиениты, 2 — сидериты, 3 — тектонический контакт, 4 — проявления битума. Остальные условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 3. Correlation of the Upper Precambrian sections, penetrated by 1 Kulgunino and 1 Vostochno-Askino boreholes

Legend: 1 — gabbro-syenites and syenites, 2 — siderites, 3 — tectonic contact, 4 — bitumen shows. The rest of the symbols see in the fig. 2.


Общие подразделения шкалы
Возраст рубежей (млн лет)
Верхний протерозой
Венд
Рифей
Верхний (Каратавий)
Средний (Юрматиний)
Нижний (Бурзяний)
AR-PR1
600±10
1030±30
1350±20
1650±50
С-1 Кулгунинская [Андреев и др., 1981]
Глубина, м
Свита
Подсвита
Литология
Катавская
Верхняя
Средняя
Нижн.
Зильмердакская
Бедерышинская
Лемезинск
Нугушская
Кулгунинская
Зигазино-комаровская
Зигальгинская
Юшинская
Старосаитовская
Верх.
Нижняя
1
2
3
4
С - 1 Кулгунинская [Козлов и др., 2011]
Катавская
Верхняя
Нижняя
Зильмердакская
zl4
zl3
Приютовская
Ольховская
Кулгунинская
Акбердинская пачка
Тукаевская
Кабаковская
Верхняя
Нижняя
Забой 5154 м
1 - байкибашевская (V)
2 - нижняя
С-1 Восточно-Аскинская
Свита
Подсвита
Глубина, м
Керн
Литология
Палеозой
Старопетровская
Ольховская
Тукаевская
Верхняя
Кабаковская
Верхняя
Нижняя
Калтасинская
Ашитская
Арланская
1893 м
2198
2222
2396
2770
2820
1386 ± 6 (U-Pb, Bd) [Puchkov et al., 2013]
3500
3824
4730
Забой 5000 м

(нижний рифей), тукаевской и ольховской (средний рифей), байкибашевской и старопетровской (венд) свит (см. рис. 3). В этой скважине впервые получен наиболее полный и мощный (более 1000 м) разрез кабаковской свиты, описан постепенный переход с подстилающей калтасинской свитой.

Полученная датировка по бадделеиту из долеритов, рвущих отложения кабаковской свиты (см. выше описание маркирующих горизонтов), позволила уточнить возраст и стратиграфическое положение кабаковской свиты в разрезе рифея ВУО, что имеет важное значение для корреляции разрезов скважин Кулгунинской (Южный Урал) и Восточно-Аскинской (Камско-Бельский авлакоген).

Результаты минералогических исследований отложений докембрия Южного Урала и Волго-Уральской области [Сергеева, 1988; Козлов и др., 1995] показали, что рифей-вендские осадки авлакогенов Волго-Уральской области формируются за счет обломочного материала пород кристаллического фундамента, образующих борта Камско-Бельского и Серноводско-Абдулинского авлакогенов, и самих рифейских толщ, слагающих конседиментационные поднятия в авлакогенах. Здесь образуются свои минералогические комплексы, акцессорно-минеральные ассоциации, руководящие минералы и их типоморфные признаки [Козлов и др., 1995].

Рифей-вендские толщи складчатой области на Южном Урале, в отличие от авлакогенных комплексов Волго-Уральской области, характеризуются контрастными акцессорно-минеральными ассоциациями и разнообразием типоморфных признаков руководящих минералов. Например, темноокрашенные цирконы (темно-розовые и малиново-красные), типоморфные для отложений нижнего рифея, широко распространенные в среднем и присутствующие породах верхнего рифея и венда Башкирского мегантиклинория, практически отсутствуют в рифейских и вендских осадках, вскрытых скважинами в Камско-Бельском авлакогене. К настоящему времени общий источник обломочного материала по комплексу минералов и типоморфизму циркона для отложений Камско-Бельского авлакогена (нижняя подсвита кабаковской свиты) и западного склона Южного Урала (бакальская и ее аналог юшинская свиты) отмечен в разрезе скважины 1 Восточно-Аскинская [Козлов и др., 2007]. Этот факт предполагает существование в раннерифейское время достаточно обширного и единого седиментационного бассейна для отложений Камско-Бельского авлакогена и Башкирского мегантиклинория, фациальные границы в котором не были постоянны. Четкого раздела между уральскими и платформенными разрезами не существовало, поскольку не существовало и Урала [Козлов и др., 2011]. Это предположение хорошо увязывается с материалами глубинного строения рассматриваемых регионов и соотношения слагающих их отложений, полученными в результате анализа данных сейсморазведки. Сейсморазведочные работы на трех региональных профилях методом общей глубинной точки (МОГТ) были проведены трестом «Башнефтегеофизика» в 1984 г. с целью изучения тектонического строения Предуральского краевого прогиба и западной части Уральской складчатой области. В задачу одного из них (068406) входило соединить сейсмическим профилем МОГТ скважины 5 Шиханская и 1 Кулгунинская (рис. 4). Сейсмический профиль через параметрическую скважину 1 Кулгунинская был отработан на восток до хр. Баштин.

Согласно интерпретации регионального сейсмического профиля 068406 по [Ардашева, Ракитина, 1985 г.] наиболее выдержанным на профиле является отражающий горизонт II, отождествляемый с подошвой вендских (каировская и шкаповская серии) отложений (см. рис. 4). Ниже подошвы венда (горизонт II) от скважины 5 Шиханская на восток в район скважины 1 Кулгунинская прослеживаются еще несколько отражающих горизонтов: кровля и подошва среднего (серафимовская серия) рифея, кровля (горизонт IVa) и подошва (горизонт IVc) арланской подсвиты калтасинской свиты кырпинской серии нижнего рифея и достаточно фрагментарный V горизонт, отождествляемый с поверхностью кристаллического фундамента.

Сейсмический материал временного разреза района от хр. Алатау до хр. Калу и восточнее, соответствующий складчатым рифейским толщам Урала, а также образованиям кристаллического фундамента, подстилающим рифейские осадочные толщи, по всему профилю 068406 остался без интерпретации. Это могло быть связано как со сложным структурно-геологическим строением указанных комплексов, так и с техническим и методическим несовершенством сейсмических работ времени отработки профиля.

Вопросы структурного соотношения рифейских отложений, вскрытых скважиной 1 Кулгунинская, выделение разрывных нарушений и характеристика разреза по материалам сейсморазведки МОГТ рассматривались В.А. Романовым [Романов, Ишерская, 1994]. Стратиграфическое расчленение

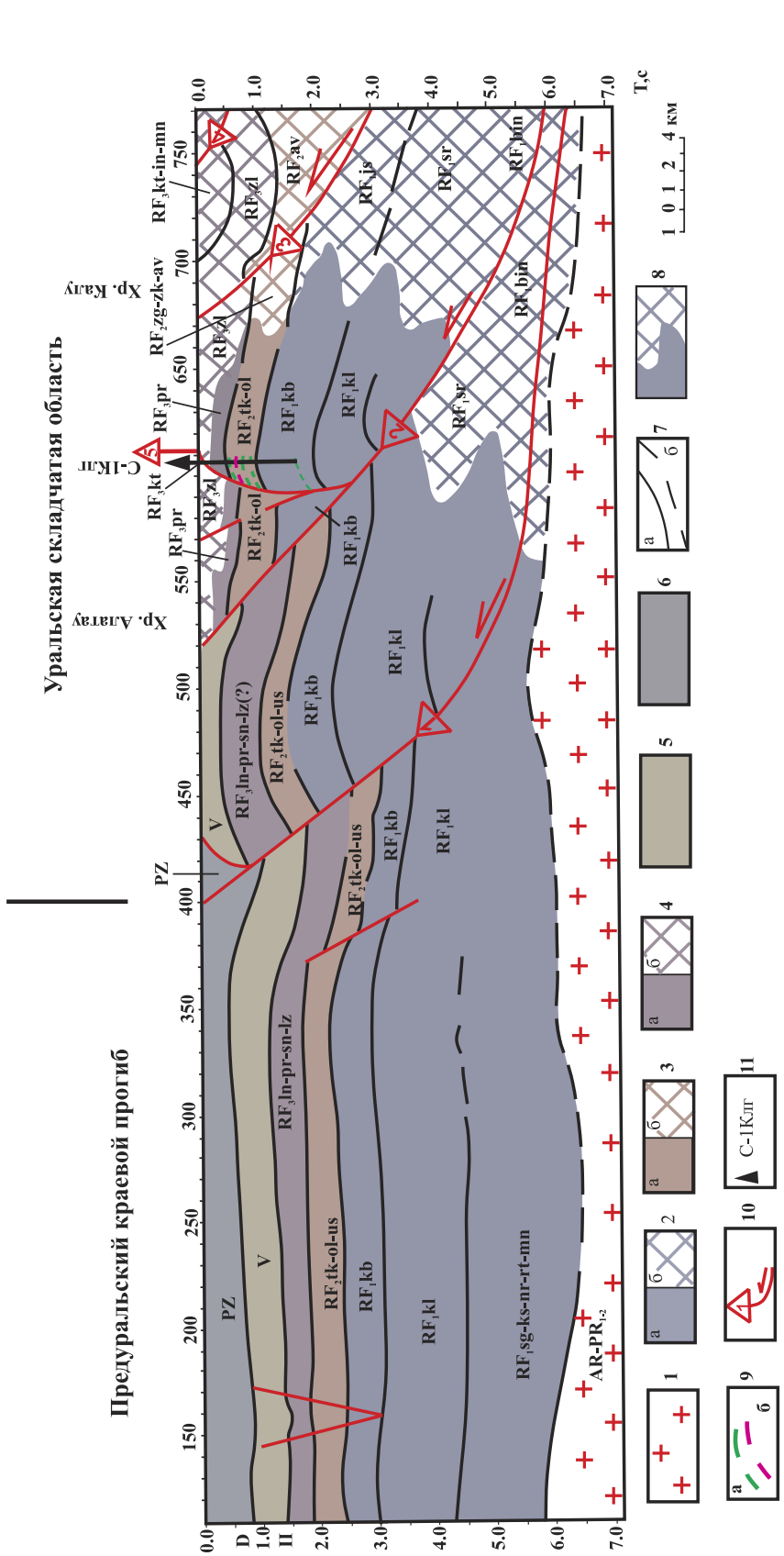


Рис. 4. Геологическая интерпретация на основе временного разреза по профилю 068406 в районе скважины 1 Кулгунинская. Составили В.Н. Пучков и Н.Д. Сергеева [Козлов и др., 2011]

Условные обозначения: 1 — архей-раннепротерозойские образования кристаллического фундамента (AR–PR$_{1-2}$); 2–4 — рифей: 2 — нижний (RF$_1$), свиты: а) sg — сигаевская, ks — костинская, nr — норкинская, rt — ротковская, mn — минаевская, kl — калтасинская, kb — кабаковская Камско-Бельского авлакогена (КБА) и б) bin — большеинзерская, sr — суранская, js — юшинская Башкирского метантиклинория (БМА); 3 — средний (RF$_2$), свиты: а) tk — тукаевская, ol — ольховская, us — усинская (КБА) и б) zg — зигальгинская, zk — зигазино-комаровская, av — авзянская (БМА); 4 — верхний (RF$_3$), свиты: а) ln — леонидовская, pr — приютовская, sn — шиханская, lz — леузинская (КБА) и б) zl — зильмердакская, kt — катавская, in — инзерская, mn — миньярская (БМА); 5 — венд (V); 6 — палеозой (PZ); 7 — стратиграфические границы: установленные (а), предполагаемые (б); 8 — предполагаемая зона фациального перехода свит; 9 — магматические породы: габбродолериты (а), габбро-сиениты (б); 10 — разломы и направление движений. Цифрами в треугольниках обозначены надвиги: 1 — Ташлинский, 2 — Алатауский, 3 — Калуский, 4 — Зильмердакский. Цифра над вертикальной линией: 5 — Кулгунинский разлом; 11 — скв. 1 Кулгунинская.

Fig. 4. Geological interpretation of a seismic profile 068406 near 1 Kulgunino borehole. After V.N. Puchkov and N.D. Sergeeva [Kozlov et al., 2011]

Legend: 1 — Archean-Early Proterozoic complexes of the crystalline basement(AR–PR$_{1-2}$); 2–4 — Riphean: 2 — the Lower Riphean (RF$_1$), Formations: a) sg — Sigaevo, ks — Kostino, nr — Norkino, rt — Rotkovo, mn — Minaevo, kl — Kaltasy, kb — Kabakovo of the Kama-Belsk aulacogen (KБA) and б) bin — Bolsheinzer, sr — Suran, js — Yusha of the Bashkirian meganticlinorium (БMA); 3 — Middle (RF$_2$), Formations: a) tk — Tukaevo, ol — Olkhovsk, us — Usa (KБA) and б) zg — Zigalga, zk — Zigazino-Komarovsk, av — Avzyan (БMA); 4 — Upper (RF$_3$), Formations: a) ln — Leonidovo, pr — Priyunovo, sn — Schikhan, lz — Leuza (KБA) and б) zl — Zilmerdak, kt — Katav, in — Inzer, mn — Minyar (БMA); 5 — Vendian (V); 6 — Paleozoic (PZ); 7 — stratigraphic boundaries: established (a), suggested (б); 8 — suggested zone of a facial transition between Formations; 9 — magmatic rocks: gabbrodolerites (a), gabbro-syenites (б); 10 — faults and a direction of movements. Numbers in triangles signify thrusts: 1 — Tashly, 2 — Alatau, 3 — Kalu, 4 — Zilmerdak. The number above the vertical line: 5 — Kulgunino fault; 11 — 1 Kulgunino borehole.

рифейских отложений в скважине было принято В.А. Романовым [Романов, Ишерская, 1994] по Б.М. Келлеру [Андреев и др., 1981], за исключением старосаитовской свиты, которая отнесена В.А. Романовым к багарыштинской подсвите юшинской свиты, а структуры толковались как крупные тектонические дислокации: Алатауский шарьяж, выполненный отложениями верхнего рифея, и тектонические пластины параавтохтона, сложенные нижне- и среднерифейскими отложениями.

Сопоставление рифейских отложений, вскрытых скважиной 1 Кулгунинская, с Уральским стратотипом и образованиями сопредельной части Русской плиты позволило предложить иную геологическую интерпретацию разреза скважины [Козлов и др., 2011]. В скважине 1 Кулгунинская последовательно (снизу) вскрыты отложения кабаковской (кырпинская серия нижнего рифея), тукаевской, ольховской (серафимовская серия среднего рифея) и приютовской (абдулинская серия верхнего рифея) свит Камско-Бельского авлакогена, которые перекрыты осадками зильмердакской и катавской свит каратауской серии верхнего рифея Уральского стратотипа (см. рис. 3).

Анализ данных сейсмических профилей и геологических материалов в районе скважины показал, что отражающие площадки в отложениях рифея и венда Камско-Бельского авлакогена прослеживаются через параметрические скважины 5 Шиханская и 1 Кулгунинская на восток до Калуского надвига Башкирского мегантиклинория (см. рис. 4). При этом на профилях (068406 и Урсейс 95) выделяется три блока, разделенных глубокими разломами (надвигами) листрической морфологии.

1. Район Предуральского краевого прогиба (пикеты 100–400) со спокойным горизонтальным залеганием отражающих горизонтов в отложениях палеозоя, венда и рифея.

2. Зона передовых складок Урала (пикеты 400–520), представляющая собою приподнятый антиклинальный блок, ограниченный Ташлинским с запада и Алатауским с востока надвигами и сложенный с поверхности отложениями басинской, куккараукской и зиганской свит опорного разреза венда Южного Урала. По кровле рифейских образований четко прослеживается II отражающий горизонт (подошва венда Камско-Бельского авлакогена).

3. Зона между Алатауским надвигом на западе и надвигом Калу на востоке (пикеты 520–670) включает Алатаускую антиклиналь и Кулгунинскую синклиналь Алатауского антиклинория, а в центре зоны находится параметрическая скважина 1 Кулгунинская. Структуры этой зоны сложены выходящими на дневную поверхность отложениями зильмердакской, катавской и инзерской свит каратауской серии верхнего рифея Уральского стратотипа, которые перекрывают осадочные толщи приютовской свиты абдулинской серии верхнего рифея Камско-Бельского авлакогена. Граница отложений приютовской свиты и кварцевых песчаников лемезинской подсвиты зильмердакской свиты в скважине 1 Кулгунинская проходит по тектоническому разлому, который назван нами Кулгунинским (см. рис. 4). В доприютовской части разреза скважиной вскрыты отложения среднего (ольховская и тукаевская свиты) и нижнего (кабаковская свита) рифея.

Ташлинский и Алатауский надвиги, откартированные при геологической съемке [Синицын, Синицына, 1965], на сейсмическом профиле выделяются как крупные высокоамплитудные нарушения с восточным падением, по своему стилю отвечающие «толстокожей тектонике» [Пучков, 2010]. Предполагается [Пучков и др., 1998; Giese et al., 1999], что на глубине эти надвиги выполаживаются и образуют единую пологую поверхность срыва (детачмента) вблизи кристаллического фундамента. Тектонические нарушения изменили первоначальное соотношение толщ и привели к срезанию маркирующего горизонта (аркозовые песчаники бирьянской подсвиты зильмердакской свиты), вскрытого скважиной разреза, и к кажущемуся сокращению мощности зильмердакской свиты. Каждый из перечисленных разломов имеет многочисленные оперяющие сколы, с которыми связано смятие (скучивание) толщ и, как следствие, увеличение мощности отложений, но заметного нарушения отражающих горизонтов не произошло, поэтому эти небольшие нарушения не отображены нами на структурно-геологическом профиле (см. рис. 4). При этом зона разломов, западную ветвь которой образует Кулгунинский, срезающий часть разреза зильмердакской свиты, имеет веерообразную «цветковую» морфологию и может являться правосторонним сдвигом, который выглядит на разрезе как система сбросов.

Заключение

Данные последних лет по геологии рифейских и вендских образований Южного Урала и Волго-Уральской области и созданные на их основе обновленные Стратиграфические схемы указанных

регионов [Пучков и др., 2016, 2017; Сергеева, Пучков, 2016] позволяют проводить более надежную межрегиональную корреляцию рассматриваемых отложений.

Сопоставление рифейских отложений, вскрытых скважиной 1 Кулгунинская, с Уральским стратотипом и образованиями сопредельной части Русской плиты, а также анализ сейсмических данных (временной разрез по профилю 068406 и Урсейс 95) показали, что отражающие площадки в отложениях рифея и венда Камско-Бельского авлакогена прослеживаются через параметрические скважины 5 Шиханская, 6 Ахмеровская и 1 Кулгунинская на восток до Калуского надвига Башкирского мегантиклинория (см. рис. 4). При этом на профилях выделяется три блока, разделенных глубокими разломами (надвигами) листрической морфологии.

Самый восточный блок (см. рис. 4), в котором находится скважина 1 Кулгунинская, представляет собой зону сопряжения Камско-Бельского авлакогена и складчатой области Южного Урала. Эта зона, согласно геологической интерпретации скважины 1 Кулгунинская, сложена осадками нижнего (кабаковская свита), среднего (ольховская и тукаевская свиты) и верхнего (приютовская свита) рифея Камско-Бельского авлакогена с четкими отражающими горизонтами. К востоку от скважины (примерно в 8 км) все осадочные толщи переходят в сейсмически не интерпретируемые возрастные аналоги рифея Урала: ольховская свита — в авзянскую и зигазино-комаровскую свиты, тукаевская — в зигальгинскую, кабаковская — в юшинскую (аналог бакальской) и калтасинская — в суранскую (аналог саткинской) свиты (см. рис. 4). Платформенные осадки приютовской свиты выше по разрезу сменяются отложениями зильмердакской и катавской свит, принадлежащих уральскому типу (интервалы глубин соответственно 620–1243 м и 0–620 м, см. рис. 3). К сожалению, особенности перехода образований авлакогенов и складчатой области в разрезе Кулгунинской скважины не наблюдаются из-за тектонических процессов, которые привели к нарушению первоначального соотношения толщ.

Согласно минералогическим исследованиям терригенных отложений рифея и венда осадки авлакогенов Волго-Уральской области формировались за счет обломочного материала пород кристаллического фундамента, образующих борта Камско-Бельского и Серноводско-Абдулинского авлакогенов, и самих рифейских толщ, слагающих конседиментационные поднятия в авлакогенах. Рифей-вендские образования на Южном Урале, в отличие от авлакогенных комплексов Волго-Уральской области, характеризуются контрастными акцессорно-минеральными ассоциациями и разнообразием типоморфных признаков руководящих минералов, что свидетельствует о более разнообразном составе пород в области сноса. К настоящему времени общий источник обломочного материала по комплексу минералов и типоморфизму циркона для отложений Камско-Бельского авлакогена (нижняя подсвита кабаковской свиты) и западного склона Южного Урала (бакальская и ее аналог юшинская свиты) отмечен в разрезе скважины 1 Восточно-Аскинская.

Сходные черты состава и строения осадочных последовательностей Южного Урала (бурзянская серия) и авлакогенов ВУО (кырпинская серия) свидетельствуют о близких условиях формирования отложений и тесной связи бассейнов осадконакопления в раннерифейское время в указанных регионах, хотя фациальные границы в них не были постоянны. Единый осадочный бассейн Волго-Уральской области и Южного Урала существует до верхнего рифея и венда, но происходит его значительное сокращение, что четко фиксируется сокращением площади распространения и мощности осадков среднего и верхнего рифея в авлакогенах ВУО. При этом, когда мы говорим о сопоставлении или соотношении осадочных комплексов авлакогенов и складчатой области, мы не должны забывать, что складчатые дислокации накладывались на восточные части вышеуказанного единого бассейна в пост-рифейское время, причем складчатость формировалась в два этапа, соответствующие тиманской и уральской орогениям.

Работа выполнена в соответствии с планами научно-исследовательских работ ИГ УФИЦ РАН (тема гос. задания № 0252-2014-0002).

Список литературы:

Андреев Ю.В., Иванова Т.В., Келлер Б.М., Лисовский Н.Н., Морозов С.Г., Тагиров И.А., Янкаускас Т.В. Стратиграфия верхнего протерозоя востока Русской плиты и западного склона Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1981. – № 10. – С. 57–67.

Горожанин В.М. Rb-Sr датирование неопротерозойских вулканитов по поствулканическому селадониту: скв. Кипчак 1, Серноводско-Абдулинский авлакоген // Мат-лы IV Российской конференции по изотопной геохронологии «Изотопные системы и время геологических процессов». Тезисы докл. – Санкт-Петербург, 2–4 июня 2009 г. – СПб, 2009. – С. 145–147.

Кей Л.С., Крофорд Д.С., Бартли Д.К., Козлов В.И., Сергеева Н.Д., Пучков В.Н. C- и Sr-изотопная хемостратиграфия как инструмент для уточнения возраста рифейских отложений Камско-Бельского авлакогена Восточно-Европейской платформы // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2007. – Т. 15, № 1. – С. 15–34.

Келлер Б.М., Козлов В.И., Раабен М.Е., Аксенов Е.М., Морозов С.Г., Солонцев Л.Ф., Казак А.П., Младших С.В., Гаррис М.А. Стратотип рифея. Стратиграфия. Геохронология. – М.: Наука, 1983. – 183 с. – (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 377).

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., Муслимов Р.Х., Гатиятуллин Н.С., Генина Л.А., Сергеева Н.Д., Ларионов Н.Н., Михайлов П.Н., Баранов В.В. Верхний докембрий восточных районов Татарстана и перспективы его нефтегазоносности. – Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1995. – 218 с.

Козлов В.И., Иванова Т.В., Горохов И.М., Масагутов Р.Х., Сергеева Н.Д., Овчинникова Г.В., Кузнецов А.Б., Генина Л.А., Михайлов П.Н., Илеменова О.Д. Литолого-петрографическая характеристика и перспективы нефтегазоносности доверхнедевонских отложений, вскрытых скважиной 1 Леузинская (северо-восток платформенного Башкортостана): Препринт / УНЦ РАН, ООО «ИК БашНИПИнефть», ИГГД РАН. – Уфа, 2003. – 40 с.

Козлов В.И., Пучков В.Н. Авлакогенные комплексы Волго-Уральской провинции // Геологический сборник № 5 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. – С. 3–9.

Козлов В.И., Пучков В.Н., Масагутов Р.Х., Иванова Т.В., Сергеева Н.Д., Горожанин В.М. Рифей-вендские отложения Камско-Бельского авлакогена, вскрытые скважиной 1 Восточно-Аскинская. – СПб.: Недра, 2007. – 136 с.

Козлов В.И., Пучков В.Н., Нехорошева А.Г., Краснобаев А.А., Бушарина С.В. Аршиний — новый стратон рифея в стратотипических разрезах Южного Урала // Геологический сборник № 9 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. – С. 52–56.

Краснобаев А.А., Попов В.С., Беляцкий Б.В. Хронологические и генетические соотношения интрузивных пород Бердяушского плутона (Южный Урал) в свете новых U-Pb и Sm-Nd изотопных данных // Записки РМО. – 2011. – Ч. 80, № 2. – С. 59–73.

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 // Доклады РАН. – 2013а. – Т. 448, № 4. – С. 437–442. – https://doi.org/10.7868/S086956521304021X.

Краснобаев А.А., Козлов В.И., Пучков В.Н., Бушарина С.В., Сергеева Н.Д., Падерин И.П. Цирконовая геохронология машакских вулканитов и проблема возраста границы нижний – средний рифей (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2013б. – Т. 21, № 5. – С. 3–20. – https://doi.org/10.7868/S0869592X13050050.

Кузнецов А.Б., Овчинникова Г.В., Горохов И.М., Каурова О.К., Крупенин М.Т., Маслов А.В. Sr-изтопная характеристика и Pb-Pb-возраст известняков бакальской свиты (типовой разрез нижнего рифея, Южный Урал) // Доклады РАН. – 2003. – Т. 391, № 6. – С. 794–798.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.

Пучков В.Н., Перес-Эстаун А., Браун Д., Альварес-Маррон Х. Краевой складчато-надвиговый пояс орогена: структура и происхождение на примере Башкирского Урала // Вестник ОГГГГН РАН [Электрон. научн. журнал]. – 1998. – № 13. – С. 70–99.

Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Шмитц М., Козлов В.И., Давыдов В.И., Лепехина Е.Н., Нехорошева А.Г. Новые U-Pb датировки машакской свиты Южного Урала и их сравнительная оценка // Геологический сборник № 8 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2009. – С. 3–14.

Пучков В.Н., Краснобаев А.А., Сергеева Н.Д. Новое в стратиграфии стратотипического разреза рифея // Общая стратиграфическая шкала России: состояние и перспективы ее обустройства: Матер. Всерос. конф. – М.: ГИН РАН, 2013. – С. 70–72.

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 / *Отв. ред. Т.Ю. Толмачева*: Матер. Межвед. рабочего совещ. Санкт-Петербург, 17–20 окт. 2016 г. – СПБ: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. – С. 137–139.

Пучков В.Н., Сергеева Н.Д., Краснобаев А.А. Стратиграфическая схема стратотипа рифея Южного Урала // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. АН РБ и ИГ УНЦ РАН. – 2017. – Вып. 23. – С. 3–19.

Романов В.А., Ишерская М.В. Рифей Кулгунинской скважины и корреляция его с одновозрастными отложениями смежных районов Башкирии: Препринт / Уфимский науч. Центр. РАН, Ин-т геологии. – Уфа, 1994. – 20 с.

Семихатов М.А., Шуркин К.А., Аксенов Е.М., Беккер Ю.Р., Бибикова Е.В., Дук В.Л., Есипчук К.Е., Карсаков 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., Семихатов М.А., Федонкин М.А., Воробьева Н.Г. Основные этапы развития докембрийского органического мира. Сообщение 2: Поздний протерозой // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2010. – Т. 18. – № 6. – С. 3–34.

Сергеева Н.Д. Акцессорные минералы терригенных пород стратотипических разрезов рифея на Южном Урале // Верхний докембрий Южного Урала и востока Русской плиты. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1988. – С. 46–53.

Сергеева Н.Д., Пучков В.Н. Стратиграфия рифея и венда Волго-Уральской области (изменения и дополнения) // Общая стратиграфическая шкала и методические про-

блемы разработки региональных стратиграфических шкал России / *Отв. ред. Т.Ю. Толмачева*: Матер. Межвед. рабочего совещ. Санкт-Петербург 17–20 окт. 2016 г. – СПБ: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. – С. 157–159.

Синицын И.И., Синицына З.А. Объяснительная записка к геологической карте СССР. М 1:200 000. Серия Южно-Уральская. N-40-XXI. – М.: Госгеолком СССР, 1965. – 70 с.

Стратиграфический кодекс России. 3-е изд. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. – 96 с.

Bartley J.K., Kah L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt // Chemical Geology. – 2007. – V. 237. – P. 211–232. – https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.06.018.

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Yamilton V. Geochemical Characterization of Precambrian magmaticsuites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник № 5 / ИГ УНЦ РАН. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. – С. 119–161.

Giese U., Glasmacher U., Kozlov V.I., Matenaar I., Puchkov V.N., Stroink L., Bauer W., Ladage S., Walter R. Structural framework of the Bashkirian anticlinorium, SW Urals // Geol. Rdsch. – 1999. – V. 87. – P. 526–544. – https://doi.org/10.1007/s005310050229.

Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund 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. – https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021.

Sperling E.A., Rooney A.D., Hays L., Sergeev V.N., Vorob'eva N.G., Sergeeva N.D., Selby D., Johnston D.T., Knoll A.H. Redox heterogeneity of subsurface waters in the Mesoproterozoic ocean // Geobiology. – 2014. – V. 12. – P. 373–386. – https://doi.org/10.1111/gbi.12091.

References:

Andreev Yu.V., Ivanova T.V., Keller B.M., Lisovskiy N.N., Morozov S.G., Tagirov I.A., Yankauskas T.V. Stratigrafiya verkhnego proterozoya vostoka Russkoi plity i zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala [The stratigraphy of the Upper Proterozoic of the eastern part of the Russian plate and the western limb of the Southern Urals] // Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1981. No. 10. P. 57–67 (in Russian).

Bartley J.K., Kah L.C., McWilliams J.L., Stagner A.F. Carbon isotope chemostratigraphy of the Middle Riphean type section (Avzyan Formation, Southern Urals, Russia): Signal recovery in a fold-and-thrust belt // Chemical Geology. – 2007. – V. 237. – P. 211–232. – https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.06.018.

Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Yamilton V. Geochemical Characterization of Precambrian magmaticsuites of the southeastern margin of the East European Craton, Southern Urals, Russia // Geologicheskiy sbornik No. 5 / IG UNTS RAS. Ufa: DizaynPoligrafServis, 2006. – P. 119–161.

Giese U., Glasmacher U., Kozlov V.I., Matenaar I., Puchkov V.N., Stroink L., Bauer W., Ladage S., Walter R. Structural framework of the Bashkirian anticlinorium, SW Urals // Geol. Rdsch. – 1999. – V. 87. – P. 526–544. – https://doi.org/10.1007/s005310050229.

Gorozhanin V.M. Rb-Sr datirovanie neoproterozoiskikh vulkanitov po postvulkanicheskomu seladonitu: skv Kipchak 1, Sernovodsko-Abdulinskii avlakogen [Rb-Sr dating of the Neoproterozoic volcanics after a postvolcanic seladonite: Kipchak 1 borehole, Sernovodsk-Abdulino aulacogen] // Mat-ly IV Rossiiskoi konferentsii po izotopnoi geokhronologii «Izotopnye sistemy i vremya geologicheskikh protsessov». Tezisy dokl. Cankt-Peterburg, 2–4 iyunya 2009. Saint-Peterburg, 2009. P. 145–147 (in Russian).

Kah L.C., Crawford D.C., Bartley J.K., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Puchkov V.N. C- and Sr-isotope chemostratigraphy as a tool for verifying age of Riphean deposits in the Kama-Belaya aulacogen, the east European platform // Stratigraphy and Geological Correlation. 2007. V. 15, No. 1. P. 12–29. https://doi.org/10.1134/s0869593807010029.

Keller B.M., Kozlov V.I., Raaben M.Ye., Aksenov Ye.M., Morozov S.G., Solontsev L.F., Kazak A.P., Mladshikh S.V., Garris M.A. Stratotip rifeya. Stratigrafiya. Geokhronologiya [Stratotype of the Riphean. Stratigraphy. Geochronology]. M.: Nauka, 1983. 183 p. (Tr. GIN AN SSSR; Is. 377) (in Russian).

Kozlov V.I., Krasnobayev A.A., Larionov N.N., Maslov A.V., Sergeeva N.D., Bibikova Ye.V., Genina L.A,. Ronkin Yu.L. Nizhnii rifei Yuzhnogo Urala [The Lower Riphean of the Southern Urals]. M.: Nauka, 1989. 240 p. (in Russian).

Kozlov V.I., Muslimov R.H., Gatiytullin N.S., Genina L.A., Sergeeva N.D., Larionov N.N., Mikhaylov P.N., Baranov V.V. Verkhnii dokembrii vostochnykh raionov Tatarstana i perspektivy ego neftegazonosnosti [Upper Precambrian of the Eastern areas Tatarstan and their prospects for oil]. Ufa: IG UNTs RAN, 1995. 218 p. (in Russian).

Kozlov V.I., Ivanova T.V., Gorokhov I.M., Masagutov R.Kh., Sergeeva N.D., Ovchinnikova G.V., Kuznetsov A.B., Genina L.A., Mikhaylov P.N., Ilemenova O.D. Litologo-petrograficheskaya kharakteristika i perspektivy neftegazonosnosti doverkhnedevonskikh otlozhenii, vskrytykh skvazhinoi 1 Leuzinskaya (severo-vostok platformennogo Bashkortostana) [Litologo-petrographic characteristics of the prospects of oil-and-gas reserves of the pre-Upper Devonian deposits penetrated by the 1-Leuzinskaya borehole (N-E of the platform part of Bashkortostan)] / Preprint. UNTS RAN, OOO «IK BashNIPIneft'», IGGD RAN. Ufa, 2003. 40 p. (in Russian).

Kozlov V.I., Puchkov V.N. Avlakogennye kompleksy Volgo-Ural'skoi provintsii [Aulacogen complexes of the Volgo-Uralian province] // Geologicheskii sbornik № 5 / IG UNTS RAN. Ufa: DizainPoligrafServis, 2006. P. 3–9 (in Russian).

Kozlov V.I., Puchkov V.N. Masagutov R.Kh., Ivanova T.V., Sergeeva N.D., Gorozhanin V.M. Rifei-vendskie otlozheniya Kamsko-Bel'skogo avlakogena, vskrytye skvazhinoi 1 Vostochno-Askinskaya [The Riphean-Vendian sections of the Kama-Bel'sk aulacogen, penetrated by borehole 1 Vostochno-Askino]. SPb.: Nedra, 2007. 136 p. (in Russian).

Kozlov V.I., Puchkov V.N., Nekhorosheva A.G., Krasnobaev A.A., Busharina S.V. Arshiniy — novyi straton rifeya v strato-

tipicheskikh razrezakh Yuzhnogo Urala [Arshiniy — new straton of the Ripheanin in the stratotypic sections of the Southern Urals] // Geologicheskii sbornik № 9 / IG UNTS RAN. Ufa: DizainPoligrafServis, 2011. P. 52–56 (in Russian).

Krasnobayev A.A., Popov V.S., Belyatskiy B.V. Khronologicheskie i geneticheskie sootnosheniya intruzivnykh porod Berdyaushskogo plutona (Yuzhnyi Ural) v svete novykh U-Pb i Sm-Nd izotopnykh dannykh [Chronological and genetic relationships of the intrusive rocks of the Berdiaush pluton (Southern Urals)] // Zapiski RMO. 2011. Ch. 80, No. 2. P. 59–73 (in Russian).

Krasnobaev A.A., Busharina S.V., Puchkov V.N., Kozlov V.I., Sergeeva N.D., Lepekhina E.N. 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 Earth Sciences. 2013a. V. 448, No. 2. P. 185–190. https://doi.org/10.1134/S1028334X13020050.

Krasnobaev A.A., Busharina S.V., Kozlov V.I., Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Paderin I.P. Zircon geochronology of the Mashak volcanic rocks and the problem of the age of the Lower-Middle Riphean boundary (Southern Urals) // Stratigraphy. Geological Correlation. 2013б. V. 21, No. 5. P. 465–481. https://doi.org/10.1134/S0869593813050055.

Kuznetsov A.B., Ovchinnikova G.V., Gorokhov I.M., Kaurova O.K., Krupenin V.N., Maslov A.V. Sr-isotope signature and Pb-Pb age of the Bakal Formation limestones in the Lower Riphean type section, the Southern Urals // Doklady Earth Sciences. 2003. V. 391, No. 6. C. 819–822.

Puchkov V.N. Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii) [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DisignPoligraphService, 2010. 280 p. (in Russian).

Puchkov V.N., Peres-Estaun A., Braun D., Al'vares-Marron Kh. Kraevoi skladchato-nadvigovyi poyas orogena: struktura i proiskhozhdenie na primere Bashkirskogo Urala [Lateral fold-and-thrust belt of the orogen: structure and origin at the example of the Bashkirian Urals] // Vestnik OGGGGN RAN: [Elektron. nauchn. zhurnal]. 1998. No. 13. P. 70–99 (in Russian).

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Shmitts M., Kozlov V.I., Davydov V.I., Lepekhina Ye.N., Nekhorosheva A.G. Novye U-Pb datirovki mashakskoi svity Yuzhnogo Urala i ikh sravnitel'naya otsenka [New U-Pb dates of the Mashak Formation of the Southern Urals and their comparative evaluation] // Geologicheskii sbornik No. 8 / IG UNTs RAN. Ufa: DizaynPoligrafServis, 2009. P. 3–14 (in Russian).

Puchkov V.N., Bogdanova S.V., Ernst R.E., Kozlov V.I., Krasnobaev A.A., Söderlund 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. – https://doi.org/10.1016/j.lithos.2012.08.021.

Puchkov V.N., Krasnobayev A.A., Sergeeva N.D. Novoe v stratigrafii stratotipicheskogo razreza rifeya [The new data on the stratigraphy of the standard section of the Riphean] // Obshchaya stratigraficheskaya shkala Rossii: sostoyanie i perspektivy ee obustroistva: Mater. Vseros. konf. M.: GIN RAN, 2013. P. 70–72 (in Russian).

Puchkov V.N., Krasnobaev A.A., Sergeeva N.D. Obnovlennaya skhema raschleneniya stratotipicheskogo razreza rifeya [Upgraded scheme of subdivision of the standard section of the Riphean] // Obshchaya stratigraficheskaya shkala i metodicheskie problemy razrabotki regional'nykh stratigraficheskikh shkal Rossii / *T.Yu. Tolmacheva (ed.).* / Materialy Mezhvedomstvennogo rabochego soveshchaniya. Sankt-Peterburg, 17–20 okt., 2016. SPB: Izd-vo VSEGEI, 2016. P. 137–139 (in Russian).

Puchkov V.N., Sergeeva N.D., Krasnobayev A.A. Stratigraficheskaya skhema stratotipa rifeya Yuzhnogo Urala [Stratigraphic scheme of the Riphean standard of the Southern Urals] // Geologiya. Izvestiya Otdeleniya nauk o Zemle i prirodnykh resursov. AN RB i IG UNTs RAN. 2017. Is. 23. P. 3–19 (in Russian).

Romanov V.A., Isherskaya M.V. Rifei Kulguninskoi skvazhiny i korrelyatsiya ego s odnovozrastnymi otlozheniyami smezhnykh raionov Bashkirii [The Riphean of the Kulgunino borehole and its correlation with the contemporaneous deposits of the adjacent areas of Bashkiria] // Preprint. Ufimskii nauch. Tsentr. RAN, In-t geologii. Ufa, 1994. 20 p. (in Russian).

Semikhatov M.A., Shurkin K.A., Aksenov Ye.M. Bekker Yu.R., Bibikova Ye.V., Duk V.L., Yesipchuk K.Ye., Karsakov L.P., Kiselev V.V., Kozlov V.I., Lobach-Zhuchenko S.B., Negrutsa V.Z., Robonen V.I., Sez'ko A.I., Filatova L.I., Khomentovskiy V.V., Shemyakin V.M., Shul'diner V.I. Novaya stratigraficheskaya shkala dokembriya SSSR [The new stratigraphic scale of the Precambrian of the USSR] // Izv. AN SSSR, Ser. geol. 1991. No 4. P. 3–13 (in Russian).

Sergeev V.N., Semikhatov M.A., Fedonkin M.A., Vorob'eva N.G. Principal stages in evolution of precambrian organic world: Communication 2. The Late proterozoic // Stratigraphy. Geological Correlation. 2010. V. 18, No. 6. P. 561–592. https://doi.org/10.1134/S0869593810060018.

Sergeeva N.D. Aktsessornye mineraly terrigennykh porod stratotipicheskikh razrezov rifeya na Yuzhnom Urale [Accessory minerals of terrigenous rocks of standard sections of the Riphean in the Southern Urals] // Verkhnii dokembrii Yuzhnogo Urala i vostoka Russkoi plity. Ufa: BNTS UrO AN SSSR, 1988. P. 46–53 (in Russian).

Sergeeva N.D., Puchkov V.N. Stratigrafiya rifeya i venda Volgo-Ural'skoy oblasti (izmeneniya i dopolneniya) [The stratigraphy of the Riphean and Vendian of the Volgo-Uralian area (changes and additions)] // Obshchaya stratigraficheskaya shkala i metodicheskie problemy razrabotki regional'nykh stratigraficheskikh shkal Rossii / *T.Yu. Tolmacheva (ed.)*/ Materialy Mezhvedomstvennogo rabochego soveshchaniya. Saint-Peterburg 17–20 okt., 2016. SPB: Izd-vo VSEGEI, 2016. P. 157–159 (in Russian).

Sinitsyn I.I., Sinitsyna Z.A. Explanatory note to the geological map of the USSR. M 1:200 000. Southern Ural series. Sheet N-40-XXI. M.: Gosgeolkom USSR, 1965. 70 p.

Sperling E.A., Rooney A.D., Hays L, Sergeev V.N., Vorob'eva N.G., Sergeeva N.D., Selby D., Johnston D.T., Knoll A.H. Redox heterogeneity of subsurface waters in the Mesoproterozoic ocean // Geobiology. 2014. V. 12. P. 373–386. https://doi.org/10.1111/gbi.12091.

Stratigraficheskii kodeks Rossii [Stratigraphic Code of Russia]. 3-e izd. SPb.: VSEGEI, 2006. 96 p. (in Russian).

Сведения об авторах:
Пучков Виктор Николаевич, член-корреспондент РАН, 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:puchkv@ufaras.ru
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
Ратов Александр Александрович, Институт геологии – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: ratov1990@icloud.com
Козлова Ольга Вячеславовна, 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

About the autors:
Puchkov Viktor Nikolaevich, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, 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
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
Ratov Alexander Alexandrovich, Institute of Geology – Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: ratov1990@icloud.com
Kozlova Olga Vjacheslavovna, 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

УДК 551.793+564+561(470.46/.47) DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-7

ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СКВАЖИНЫ 3Э (НИЖНЕЕ ПОВОЛЖЬЕ)

© 2018 г. Г.А. Данукалова, Р.Г. Курманов, Е.М. Осипова, А.С. Застрожнов, Е.В. Зиновьев

Реферат. В статье приведена палеонтологическая характеристика отложений плейстоцена скважины 3Э (Нижнее Поволжье). Изменения малакологических и палинологических комплексов позволили выделить и охарактеризовать отложения эо- и неоплейстоцена.
Ключевые слова: плейстоцен, Нижнее Поволжье, моллюски, насекомые, палинология

PALEONTOLOGICAL CHARACTERISTIC OF THE PLEISTOCENE DEPOSITS OF THE BOREHOLE 3E SECTION (LOWER VOLGA AREA)

G.A. Danukalova, R.G. Kurmanov, E.M. Osipova, A.S. Zastrozhnov, E.V. Zinoviev

Abstract. The paper presents paleontological data on the borehole 3E section (Lower Volga region). Development of malacological and palynological successions permitted to establish and characterize Eopleistocene and Neopleistocene deposits.
Keywords: Pleistocene, Lower Volga area, molluscs, insects, palynology

Введение

Исследуемая территория находится на юго-востоке Восточно-Европейской равнины в юго-западной части Прикаспийской низменности и представляет собой морскую аккумулятивную равнину, полого наклоненную в сторону Каспийского моря. Стратиграфические и биостратиграфические исследования четвертичных отложений в регионе проводятся на протяжении более чем столетия, их основы были заложены Н.И. Андрусовым на рубеже XIX и XX веков. Сведения о глубинном строении рассматриваемой территории стали появляться с 30-х годов XX века, что было связано с началом поисково-разведочного бурения на нефть и газ и геологического картирования. Несмотря на многочисленность скважин, пробуренных в регионе, важна информация по каждой из них, т.к. позволяет уточнить стратификацию отложений и палеогеографическое развитие территории в четвертичное время. В период 2013–2017 гг. нами был изучен материал из ряда скважин, пробуренных ВСЕГЕИ и Приволжской гидрогеологической экспедицией (г. Астрахань) [Данукалова и др., 2017]. Результаты исследований одной из них приводим в этой публикации.

Методы исследования

Скважина 3Э расположена на территории Астраханской области (Енотаевский район, лист L-38-XII), в 7.8 км к запад-северо-западу от совхоза Енотаевский, в 21.2 км к северо-востоку от пос. Харба, координаты N 47°05'36.750", E 46°52'50.370" (рис. 1). Скважина была пробурена ПГГЭ в 2001 г. как опорная [Кордонский, Титова, 2002ф]. Абсолютная отметка устья –9.5 м. Глубина скважины 455.0 м. Стратиграфическая разбивка отложений,

Для цитирования: 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. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-7.

For citation: Danukalova G.A., Kurmanov R.G., Osipova E.M., Zastrozhnov A.S., Zinoviev E.V. Paleontological characteristic of the Pleistocene deposits of the borehole 3E section (Lower Volga area) // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 96–109. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-7.

сделанная в прежние годы, дополнена новыми палеонтологическими данными.

Палинологические исследования. Всего спорово-пыльцевым методом изучено 152 образца. Получено 34 репрезентативных спорово-пыльцевых спектра, в 72 образцах содержание пыльцевых зерен и спор не превышало 50 шт., в 46 пробах палиноморфы не обнаружены. Полученные спектры объединены в 12 палинокомплексов (ПК).

Малакологические исследования. Из керна скважины было промыто и просмотрено 245 образцов, из которых 190 образцов содержали раковины моллюсков или обломки раковин.

Энтомологические исследования. Для определения находки насекомого использованы сравнительные коллекции Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН (Екатеринбург); данные по современному экологическому распределению насекомых даны по [Kryzhanovskij et al., 1995].

Описание отложений скважины и результаты биостратиграфических исследований приведены ниже.

Результаты исследования

Описание разреза отложений плейстоцена скважины 3Э

В результате исследований выделены морские фации апшеронского, аллювиальные и озерно-лиманные осадки тюркянского, морские отложения бакинского горизонтов, морские отложения нижнего и верхнего подгоризонтов хазарского горизонта и морские отложения хвалынского горизонта. Разрез описан сверху вниз, как традиционно принято для описания скважин, а палеонтологические данные изложены от более древних комплексов к более молодым.

Голоцен

1. e_pQ_H Супеси бурые, комковатые с корнями растений. Интервал 0.0–0.5 м. Мощность 0.5 м.

Хвалынский горизонт
Морские отложения

2. $mQ_{III}\mathbf{hv}_1$ Суглинки белесые, комковатые, плотные, пористые, с раковинами *Pyrgula* sp. (2 обл.), *Viviparus* sp. (1 обл.), *Dreissena rostriformis distincta* (8 правых + 6 левых створок + обл.), *Pisidium* sp. (1 створка), *Didacna parallela* (1 правая + 3 левая створки), *D.* ex gr. *parallela-protracta* (2 правых створки + 1 левый обломок), *Didacna* sp. (обломки), *Monodacna caspia* (2 левые + 1 правая створки) (гл. 1.5 м). Интервал 0.5–0.9 м. Мощность 0.4 м.
3. $mQ_{III}\mathbf{hv}_1$ Пески желтовато-бурые, тонкозернистые, влажные, с обломками раковин кардиид. Интервал 0.9–15.0 м. Мощность 14.1 м.

Хазарский горизонт
нижний-верхний подгоризонт
Морские отложения

4. $mQ_{II}\mathbf{hz}_{1-2}$ Пески темно-серые, мелкозернистые с раковинами и фрагментами моллюсков *Dreissena rostriformis distincta* (2), *Dreissena* sp. (обломки), кардиид (обломки) и мелким детритом моллюсков (гл. 34.9 м). Интервал 15.0–43.0 м. Мощность 28 м.

Хазарский горизонт
нижний подгоризонт
Морские отложения

5. $mQ_{II}\mathbf{hz}_1$ Глины темно-серые с синеватым оттенком, пластичные, песчанистые с раковинами *Dreissena* sp. (1 макушка), кардиид (отпечатки) и детритом моллюсков. Интервал 43.0–54.5 м. Мощность 11.5 м.
6. $mQ_{II}\mathbf{hz}_1$ Глины темно-серые, прослоями с зеленоватым оттенком, плотные, тугопластичные, с маломощными

Рис. 1. Местонахождение скважины 3Э (Google Earth)

Fig. 1. Google Earth map showing borehole 3E location

прослоями аргиллитов, по плоскостям наслоения с присыпками, линзами песка, пятнами ожелезнения, с редкими раковинами *Dreissena* sp. (3 макушки) (гл. 65.6 м), неопределимых отпечатков двустворок (гл. 65.2 м) и мелким детритом. Интервал 54.5–77.5 м. Мощность 23.0 м.

Бакинский горизонт
Морские отложения

7. mQ_1**bk** Глины темно-серые с зеленоватым оттенком, пластичные, песчанистые. Раковины моллюсков не встречены. Интервал 77.5–92.25 м. Мощность 17.5 м.
8. mQ_1**bk** Глины темно-серые, в начале слоя с синеватым оттенком, с гл. 100.15 м прослоями бурые, плотные, пластичные, с присыпками песка по плоскостям наслоения, с единичными кардиидами (1 отпеч.) (гл. 101.8 м) и мелким детритом раковин моллюсков (гл. 99.1–100.0 м). Интервал 92.25–110.0 м. Мощность 14.75 м.

Тюркянский горизонт
Аллювиальные, озерно-лиманные отложения

9. l,lmQ_1**tr** Глины темно-серые с синеватым оттенком, плотные, тугопластичные, с раковистым изломом и раковинами моллюсков: *Pyrgula* sp. (1 juv. обл.) (гл. 125.4 м), *Didacna* sp. (1 juv.) (гл. 114.7 м), *Pisidium* sp. (обломки) (гл. 112.8 м), детрит. Интервал 128.0–110.0 м. Мощность 18.0 м.
10. aQ_1**tr** Пески глинистые, темно-серые с зеленоватым оттенком, тонкозернистые, с единичными раковинами моллюсков: *Gyraulus* sp. (3 juv.), мелкий детрит (гл. 128.7 м). Интервал 128.0–133.0 м. Мощность 5.0 м.

Апшеронский горизонт
средний? подгоризонт
Морские отложения

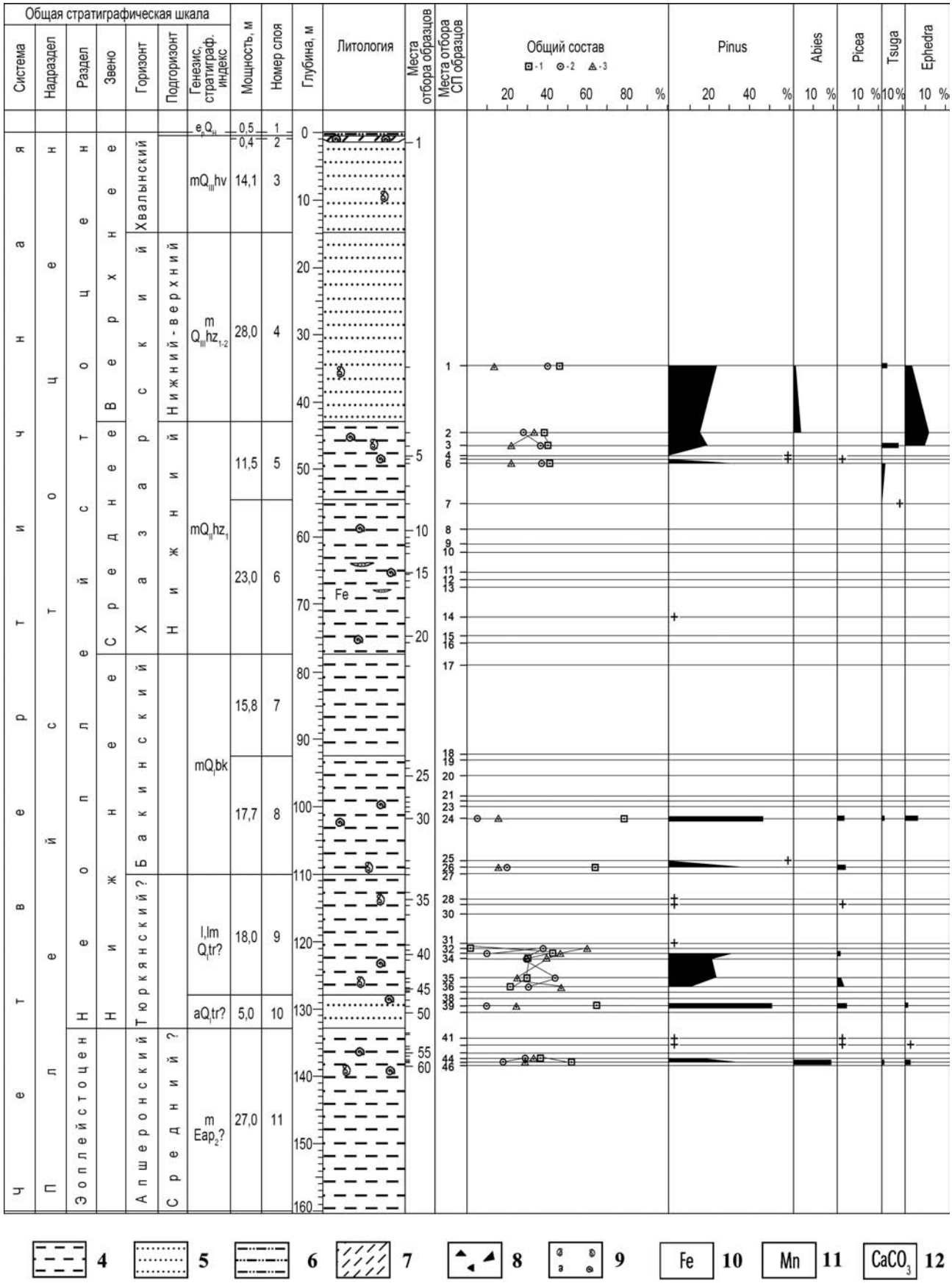
11. mE**ap**$_2$ Глины серые, сильно песчанистые, рыхлые с раковинами моллюсков *Dreissena* cf. *rostriformis distincta* (обл.), *Dreissena* sp. (обл.) (гл. 136.6 и 138.0 м), *Pyrgula* sp. (2 juv.) (гл. 137.0 м), *Didacna* sp. (2 juv.), *Pyrgula* cf. *caspia* (2 juv.) (гл. 136.0 м), кардииды (2 отпечатка) (гл. 137.9 м), мелкий детрит. Интервал 133.0–160.0 м. Мощность 27.0 м.
12. mE**ap**$_2$ Глины темно-серые с зеленоватым оттенком, аргиллитоподобные, монолитные, слабослюдистые, с жирным блеском на изломе. Отмечаются углисто-сажистые примазки, присутствуют обломки и целые раковины гастропод (3 juv. + обл.), ?*Hydrobia ventrosa* (1 juv.), *Hydrobia* sp. (1), *Pyrgula* cf. *conus*, *P. caspia* (2 обл. + 1 отпеч. + 2 juv.), *Pyrgula* sp. (23 обл. juv.), *Dreissena rostriformis distincta* (1 + 3 отпеч. + много обл.), *D.* cf. *polymorpha* (8 макушек + отпеч.), *Dreissena* sp. (обл.), *Parapsheronia raricostata* (5 отпеч.), ?*Parapsheronia* sp. (3 обл. + 6 отпеч.), *Didacna* sp. (11 juv.), *Monodacna* cf. *caspia* (1 правая + 1 левая створки + 1 отпеч. + обл.), *Monodacna* sp. (1), *Adacna* sp. (1 в двух створках), кардииды (обл.), детрит. Интервал 160.0–244.1 м. Мощность 84.1 м.
13. mE**ap**$_2$ Глины почти черные, массивные, очень плотные. Интервал 244.1–245.5 м. Мощность 1.4 м.
14. mE**ap**$_2$ Глины серые, светло-серые, плотные, аргиллитоподобные, с частыми линзами песка серого тонкозернистого, с разводами и пятнами окислов железа, марганца и углистого вещества, с редкими скоплениями, корочками марказита (пирита) и с редкими фрагментами раковин *Dreissena* sp. (1 отпеч. + обл.), ?*Pyrgula caspia* (1 отпеч.) (гл. 246.9 м). Интервал 245.5–249.0 м. Мощность 3.5 м.
15. mE**ap**$_2$ Глины серые, темно-серые, плотные, тонкогоризонтально-слоистые, известковистые, с присыпками песка и редкими стяжениями (диаметр 1 см) окислов железа и марганца по наслоению, с обломками раковин моллюсков. Интервал 249.0–258.9 м. Мощность 9.9 м.
16. mE**ap**$_2$ Глины темно-серые с зеленоватым оттенком, плотные, с раковистым изломом, жирные, слюдистые, по плоскостям наслоения с примазками и пятнами сажисто-углистого вещества. В интервале 293.5–298.4 м — многочисленные желваки и стяжения (до 0.5–6 мм) окислов железа и марганца. В глинах присутствуют редкие фрагменты раковин гастропод (2), *Pyrgula* sp. (1 juv. обл.), *Dreissena* cf. *rostriformis* (2 отпеч.), *Dreissena* sp. (отпеч. и обл.), обломки кардиид. Интервал 258.9–298.4 м. Мощность 39.5 м.
17. mE**ap**$_2$ Глины серые, темно-серые, с гл. 308.2 м — голубовато-серые, темно-зеленовато-серые, плотные, массивные, аргиллитоподобные, по наслоению с линзами песков, с редкими обломками *Dreissena* sp. и кардиид. Инт. 298.4–319.5 м. Мощность 21.1 м.

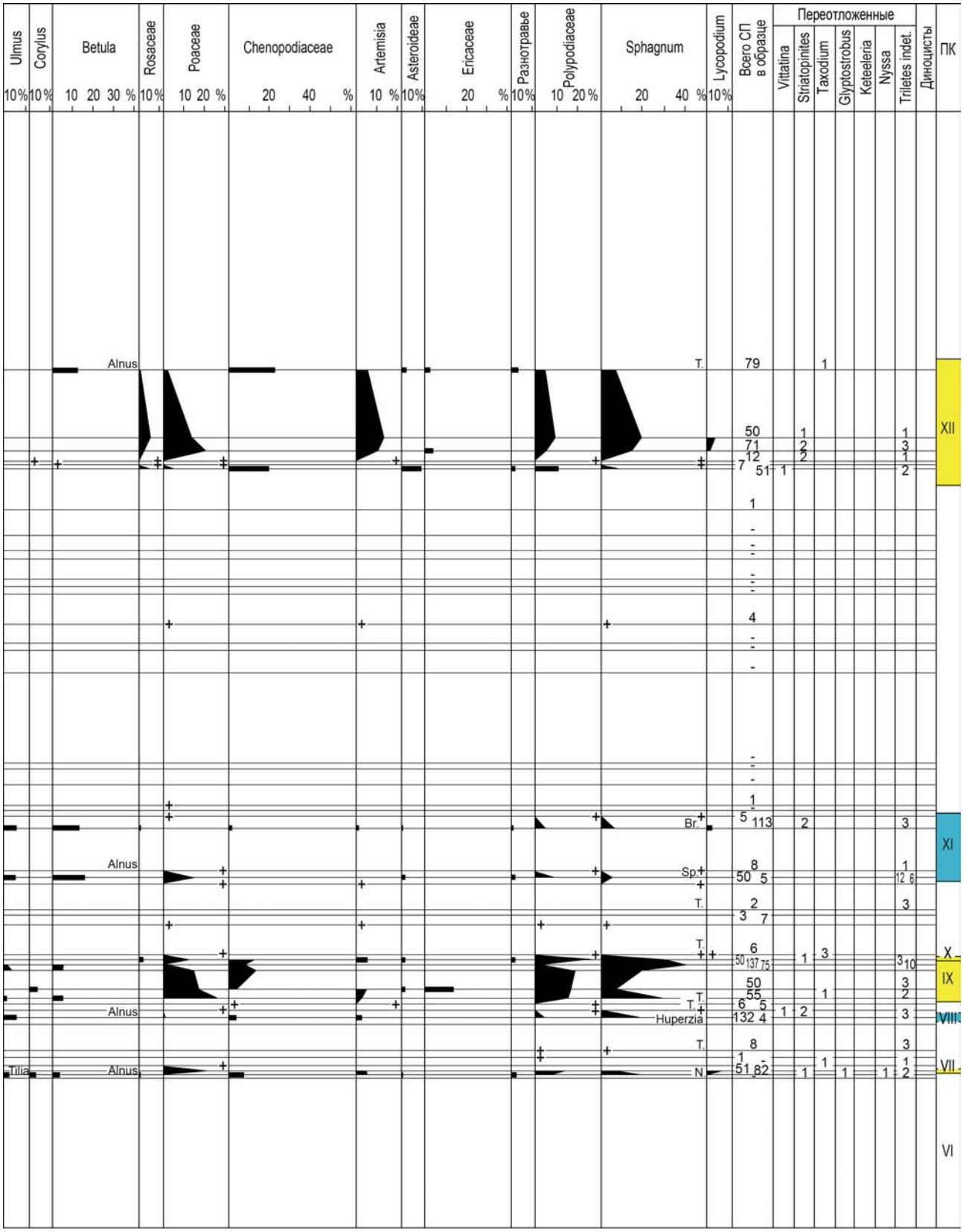
Результаты палинологических исследований отложений плейстоцена скважины 3Э

Изученные спектры объединены в 12 палинокомплексов (ПК) (рис. 2, 3).

ПК с I по VII скоррелированы с апшеронскими отложениями. ПК I (СП 139, 152) позволяет реконструировать лесостепные ландшафты. Открытые пространства занимали полынно-маревые и злаково-разнотравные ассоциации. Были распространены сосново-березовые леса с примесью елей, тсуги и широколиственных пород (*Ulmus* sp., *Juglans* sp.). Присутствовали небольшие заболоченные участки.

Позже (ПК II, СП 132, 133, 136) отмечено увеличение площадей сосновых и сосново-еловых лесов с примесью пихты, мелколиственных (*Betula* sp., *Alnus* sp.) и широколиственных пород (*Ulmus* sp.). Под пологом леса и на влажных участках разрастались папоротники, сфагновые мхи и вересковые. Климат был гумидным.


Общая стратиграфическая шкала
Система
Надраздел
Раздел
Звено
Горизонт
Подгоризонт
Генезис, стратиграф. индекс
Мощность, м
Номер слоя
Глубина, м
Литология
Места отбора образцов
Места отбора СП образцов
Общий состав
Pinus
Abies
Picea
Tsuga
Ephedra
Четвертичная
Четвертичный
Плейстоцен
Эоплейстоцен
Нижнее
Верхнее
Среднее
Нижнее
Хвалынский
Хазарский
Бакинский
Тюркянский?
Апшеронский
Нижний-верхний
Нижний
Средний?
Fe
Mn
CaCO3


Ulmus
Corylus
Betula
Rosaceae
Poaceae
Chenopodiaceae
Artemisia
Asteroideae
Ericaceae
Разнотравье
Polypodiaceae
Sphagnum
Lycopodium
Всего СП в образце
Переотложенные
Vittatina
Striatopinites
Taxodium
Glyptostrobus
Keteeleria
Nyssa
Triletes indet.
Диноцисты
ПК
Alnus
Tilia
Huperzia
XII
XI
X
IX
VIII
VII
VI

13

ПК III (СП 128) характеризует доминирование открытых ландшафтов, занятых полупустынной и степной растительностью. На небольших участках произрастали сосновые леса с участием мелколиственных (*Betula* sp.) и широколиственных пород (*Ulmus* sp.). Климат становится более аридным.

Позже площади открытых пространств уменьшаются (ПК IV, СП 120), и на изученной территории распространяются березово-сосновые леса с примесью широколиственных пород (*Ulmus* sp.). Увеличиваются площади влажных и заболоченных участков.

В результате последующей аридизации и потепления климата роль полынно-маревых и злаково-разнотравных ассоциаций вновь возрастает (ПК V, СП 76, 83, 116). Лесная растительность в этот период была представлена сосновыми лесами с небольшой примесью елей, тсуги, мелколиственных (*Betula* sp.) и широколиственных пород (*Ulmus* sp., *Tilia* sp.). Позже (ПК VI, СП 45, 52, 54, 56–59, 61, 65–67) в составе сосновых лесов появляются и другие широколиственные породы (*Quercus* sp., *Corylus* sp., *Castanea* sp., *Juglans* sp., *Zelkova* sp., *Celtis* sp.). Под пологом леса разрастаются вересковые. Увеличиваются площади заболоченных участков. Климат становиться более гумидным и теплым.

Следующий ПК VII (СП 44) характеризует распространение пихтово-сосновых лесов. Под пологом хвойных лесов разрастались папоротники и плауны. Открытые пространства занимали злаково-полынные степи. Отмечены небольшие заболоченные участки.

Также следует отметить, что в образцах из комплексов ПК I–V обнаружены неидентифицированные диноцисты, что, вероятно, характеризует морские условия.

ПК с VIII по X скоррелированы с тюркянскими отложениями. ПК VIII (СП 39) соответствует периоду доминирования лесных ландшафтов, представленных сосновыми лесами с примесью ели, вяза и ольхи. Площади заболоченных участков увеличились. Небольшие открытые участки были заняты полупустынной и степной растительностью.

Позже (ПК IX, СП 33–36) отмечается увеличение доли заболоченных участков, а также открытых пространств, в основном площадей сухих злаковых степей. Под пологом сосновых и сосново-березовых лесов с небольшим участием елей и вязов росли папоротники, встречались вересковые.

Увеличение заболоченных территорий, отмеченное ранее, продолжается и в период формирования ПК X (СП 32). На открытых участках произрастали полынно-маревые и злаково-разнотравные группировки.

Климатическая обстановка во время накопления бакинских отложений (ПК XI) стала более гумидной. ПК XI (СП 24, 26) характеризует широкое распространение сосново-березовых лесов с примесью елей и широколиственных пород (*Ulmus* sp.). Небольшие открытые пространства занимали злаково-разнотравные степи с эфедрой. Также отмечены небольшие заболоченные участки.

Ландшафты хазара, реконструированные по ПК XII (СП 1–3, 6), представляют собой сочетания сосновых и сосново-березовых лесов с участием пихты, марево-полынно-разнотравных, злаково-полынно-разнотравных степей с эфедрой и заболоченных участков.

← **Рис. 2. Разрез скважины 3Э и спорово-пыльцевая диаграмма**

Условные обозначения к рис. 2, 3: + — единичные находки спор и пыльцы; **Общий состав:** 1 — древесные, 2 — травянистые, 3 — споровые. **Сокращения ботанических терминов:** Alnus — *Alnus* sp., Tilia — *Tilia* sp., Q. — *Quercus* sp., Celtis — *Celtis* sp., Jugl. — *Juglans*, Cast. — *Castanea* sp., Zelk. — *Zelkova* sp., Salix — *Salix* sp., Lon. — *Lonicera* sp., Br. — Bryales, Huperzia — *Huperzia* sp. **Генетические символы фаций:** e — элювиальный; l — озерный; lm — лиманный; m — морской; a — аллювиальный. **Стратиграфические индексы:** Eap_2 — апшеронский горизонт, средний? подгоризонт; $Q_{I, II, III}$ — неоплейстоцен, нижнее, среднее, верхнее звено; tr — тюркянский горизонт; bk — бакинский горизонт; hz_1 — хазарский горизонт, нижний подгоризонт; hz_{1-2} — хазарский горизонт, нижний-верхний подгоризонт; hv — хвалынский горизонт. **Литологический состав пород:** 4 — глины; 5 — пески; 6 — супеси; 7 — суглинки; 8 — растительные остатки; 9 — раковины моллюсков; 10 — ожелезнение; 11 — омарганцевание; 12 — известковистость; 13 — границы стратиграфических подразделений.

Fig. 2. Pleistocene deposit section of the borehole 3E and the percentage diagrams for the main spore and pollen taxa

Legend for the Figs 2 and 3: + — places of single spore and pollen finds; **General composition:** 1 — trees, 2 — grass, 3 — sporophytes. **Abbreviations of botanical names:** Alnus — *Alnus* sp., Tilia — *Tilia* sp., Q. — *Quercus* sp., Celtis — *Celtis* sp., Jugl. — *Juglans*, Cast. — *Castanea* sp., Zelk. — *Zelkova* sp., Salix — *Salix* sp., Lon. — *Lonicera* sp., Br. — Bryales, Huperzia — *Huperzia* sp. **Facies indexes:** e — eluvial; l — lacustrine; lm — liman; m — marine; a — fluvial. **Stratigraphy indexes:** Eap2 — Apsheron Horizon, Middle? Subhorizon; QI, II, III — Neopleistocene, Lower, Middle, Upper links; tr — Tyurkyan Horizon; bk — Baku Horizon; hz1 — Khazar Horizon, Lower Subhorizon; hz1–2 — Khazar Horizon, Lower-Upper Subhorizon; hv — Khvalyn Horizon. **Lithological composition:** 4 — clay; 5 — sand; 6 — sandy loam; 7 — loam; 8 — macroplant remains; 9 — mollusc shells; 10 — iron oxides; 11 — manganese oxides; 12 — calcification; 13 — stratigraphical division boundaries.

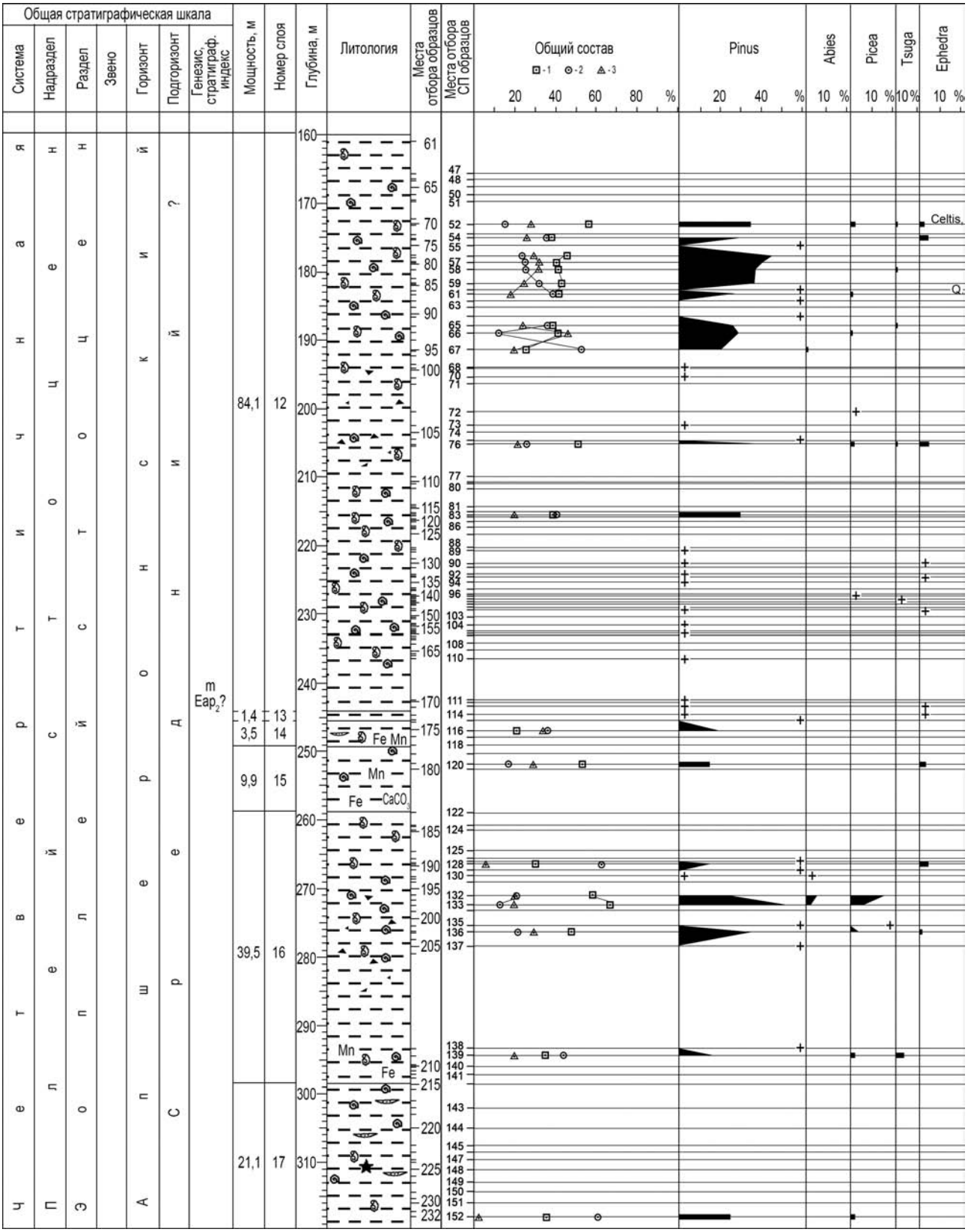


Рис. 3. Разрез скважины 3Э и спорово-пыльцевая диаграмма (окончание)

Звездочка указывает на место находки насекомого. Условные обозначения показаны на рис. 2.

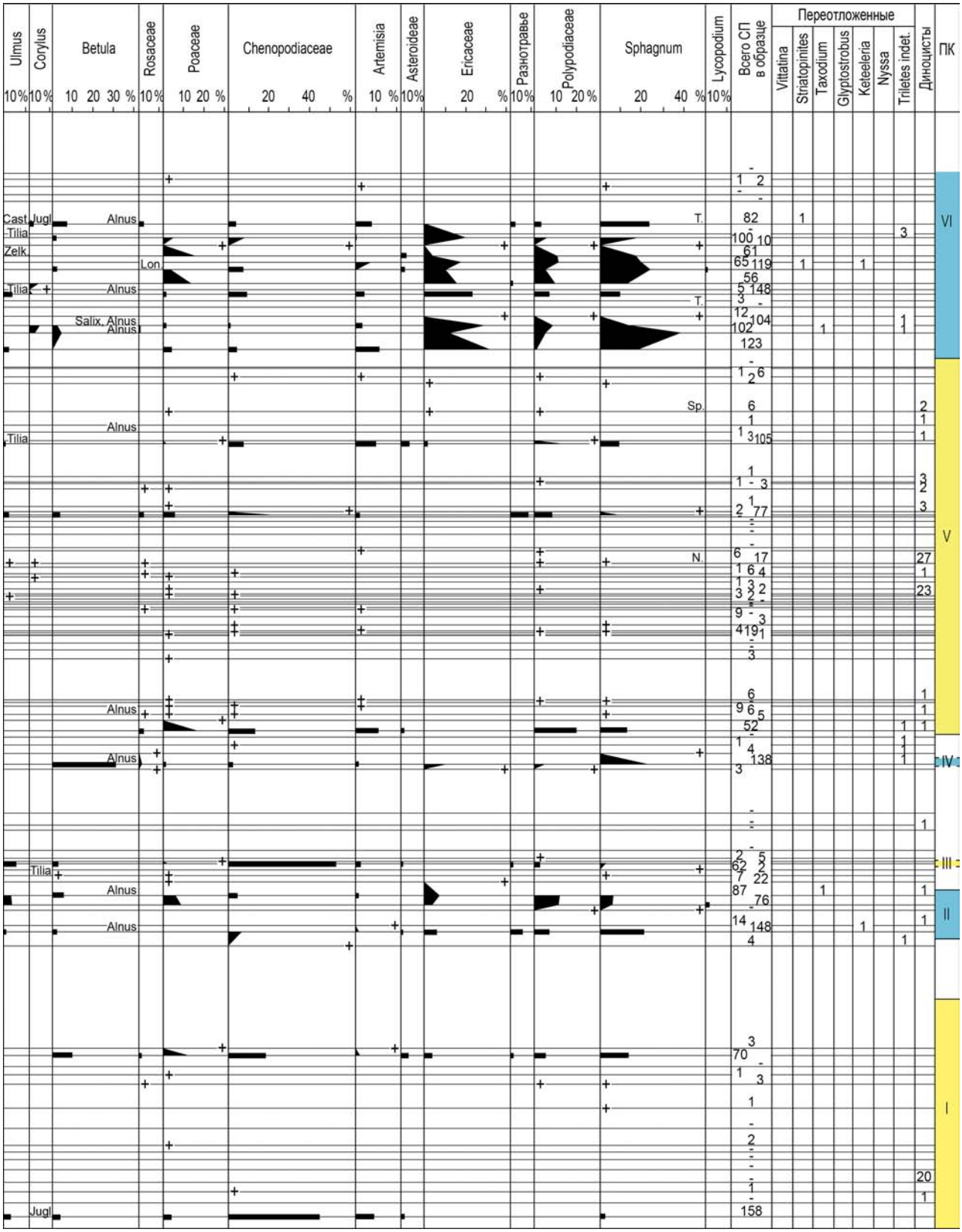


Fig. 3. Pleistocene deposit section of the borehole 3E and spore and the percentage diagrams for the main spore and pollen taxa (end of the figure 2)

A star indicates a place of the insect find. For the legend see Fig. 2.

Комплексы моллюсков и стратификация отложений плейстоцена скважины 3Э

Руководящий вид *Parapsheronia* cf. *raricostata* (Sjoegren) (Andrussov, 1923) позволяет уверенно диагностировать морские отложения апшеронского горизонта эоплейстоцена (вероятно среднего подгоризонта?) в интервале 244.1–160.0 м. Нижележащие глины в интервале 319.5–244.1 м и глины в интервале 160.0–133.0 м, залегающие выше слоя с *Parapsheronia raricostata*, имеют похожие литологические особенности, поэтому условно сопоставлены со средним подгоризонтом апшеронского горизонта до получения новых данных.

Темно-серые пески глинистые и глины в интервале 133.0–110.0 м содержат пресноводных моллюсков, свидетельствующих об опреснении водоема. В совокупности с палеонтологическими материалами по соседним скважинам этот интервал сопоставлен с тюркянским горизонтом нижнего неоплейстоцена.

Вышележащие отложения не содержат руководящих видов, которые бы однозначно идентифицировали стратиграфическую приуроченность отложений, но учитывая данные по соседним скважинам и литологическую характеристику, породы в интервале 110.0–77.5 м условно сопоставлены с бакинским горизонтом, в интервале 77.5–15.0 м — с хазарским горизонтом.

Литологические особенности пород в интервале 15.0–0.0 м и присутствие *Didacna parallela* и *D.* ex gr. *parallela-protracta* позволили соотнести их с хвалынским горизонтом (табл.).

Руководящие виды моллюсков показаны на рисунке 4.

Находка насекомого в отложениях апшерона

Из отложений апшерона на глубине 311 м найден фрагмент насекомого (рис. 5). Фрагмент представляет сохранившуюся часть жука без головы и переднеспинки, а также правую среднюю и заднюю ноги (бедро и голень). Левое и правое надкрылья совмещены, прикрывают анальные стерниты брюшка, в их основании сохранился щиток. Длина надкрыльев — 8.6 мм, общая ширина — 6 мм (левое 3.0 мм, правое 2.95 мм). Надкрылья целые, сохранились как основание, так и вершинная часть левого надкрылья; вершина правого обломана. Цвет надкрыльев темный, без светлого рисунка или пятен, их скульптура относительно хорошо видна. Основной кант выражен, слабо изогнут, представлена пришовная бороздка в основной части. Ряды надкрыльев четко выражены, штриховидные, междурядья гладкие, без точек на диске. Дискальные поры не видны. Вершины надкрыльев слабо притуплены, выражена слабая выемка в привершинной части. По размерам, форме надкрыльев и специфике макроскульптуры данный фрагмент более всего близок к жужелицам рода *Agonum*. Можно сказать, что представленные надкрылья принадлежали к *Agonum* (*Olisares*) группы *A. lugens*.

Обсуждение результатов

При сопоставлении полученных нами результатов спорово-пыльцевого анализа с палинологическими данными из тюркянского, бакинского и хазарского горизонтов, вскрытых скважиной Косика 2 (Енотаевский район Астраханской области), пробуренной ВСЕГЕИ в 2013 г. как опорная [Застрожнов и др., 2014ф], можно выделить следующие сходства и различия в составах пыльцы и спор. Палинологическая характеристика отложений двух скважин из нижней части тюркянского горизонта позволяет реконструировать широкое развитие лесной растительности и распространение увлаженных и заболоченных участков (ПК VIII–X скважины 3Э и ПК 1 скважины Косика 2). Пыльца теплолюбивых широколиственных пород (*Juglans* sp., Fagaceae, *Carpinus* sp.) выделена только в составе спектров скважины Косика 2 (ПК 2) из верхней части тюркянского горизонта. Среди сходств можно выделить постоянное присутствие в спектрах пыльцы околоводных растений (*Typha* sp.) и наличие единичных спор *Huperzia* sp.

Спектры из нижней части бакинских отложений (ПК XI скважины 3Э и ПК 2, слой 7 скважины Косика 2) указывают на распространение лесной, преимущественно хвойной растительности. Широколиственные породы немногочисленны, представлены *Ulmus* sp. и *Tilia* sp. Постепенное увеличение в спектрах двух скважин пыльцы *Ephedra* sp., вероятно, свидетельствует о возрастании аридизации к концу рассматриваемого периода. Полученные данные согласуются с результатами других исследователей, полученными для нижней части бакинского горизонта Нижнего Поволжья [Гричук, 1954; Чигуряева, 1956, цит. по Волгина и др., 1966ф].

Отсутствие палинологических данных из верхней части бакинского горизонта скважины 3Э (образцы в интервале 79.0–92.3 м на спорово-

Таблица

Распространение моллюсков в плейстоценовых отложениях скважины 3Э

Table

Molluscs distribution in the Pleistocene deposits of the borehole 3E section

№	Генезис / Таксоны	$mEap_2$	$mEap_2$	$mEap_2$	$mEap_2$	$mEap_2$	aQ_Itr	l,lmQ_Itr	mQ_Ibk	$mQ_{II}hz_1$	$mQ_{II}hz_{1-2}$	$mQ_{III}hv$
	Слой	Слой 17	Слой 16	Слой 14, 15	Слой 12	Слой 11	Слой 10	Слой 9	Слой 8	Слой 5, 6	Слой 4	Слой 3
	Образец	4724–4726	4710–4723	4709	4625–4708	4620–4624	4619	4616–4618	4615	4612–4614	4611	4610
	Глубина, м	319,5–298,4	298,4–258,9	258,9–245,5	244,1–160,0	160,0–133,0	133,0–128,0	128,0–110,0	110,0–92,3	77,5–43,0	43,0–15,0	15,0–0,9
1	*Gyraulus* sp.						3 juv.					
2	?*Viviparus* sp.											1 обл.
3	*Pyrgula* cf. *conus* (Eichwald, 1838)				2 juv.							
4	*Pyrgula* cf. *caspia* (Eichwaid, 1838)			1 отп.	1 juv.	2 juv.						
5	*Pyrgula* sp.		1 juv. обл.		19 juv. обл.	2 juv.		обл.				2 обл.
6	*Hydrobia* sp. (*Hydrobia ventrosa* (Montagu, 1803)				2							
7	Gastropoda				отп. + juv. обл							
8	*Pisidium* sp.							обл.				1
9	*Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771)				обл. + отп.							
10	*Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov, 1903)		2 отп.		93 обл. + отп.	обл.					2 обл.	8 п.+6 л.
11	*Dreissena* sp.	обл.	обл.		отп. + обл.	обл.				4 обл.	обл.	обл.
12	*Didacna* sp.					обл.	обл.	1 juv		3 отп.		
13	*Didacna* ex gr. *parallela-protracta*											3 п+ 4 л
11	*Adacna* (*Monodacna*) *caspia* (Eichwald, 1829)				1 пр.+ 1 лев.							2 л+1 п
12	*Parapsheronia* cf. *raricostata* (Sjoegren) (Andrussov, 1923)				5 отп.							
13	*Parapsheronia* sp.				10 обл.							
14	Cardiidae	обл.	обл.		отп.	обл.			обл.	обл.	обл.	
15	детрит	обл. + отп.	обл. + отп.	отп.	обл.	обл.	обл.	обл.	обл.	обл.	обл.	
Условия обитания		морские	морские	морские	морские	морские	опрес-нение	опрес-нение	морские	морские	морские	морские / опрес-нение

Примечание: отп. — отпечаток; обл. — обломок; лев. — левая; пр. — правая створки; juv. — ювенильная.

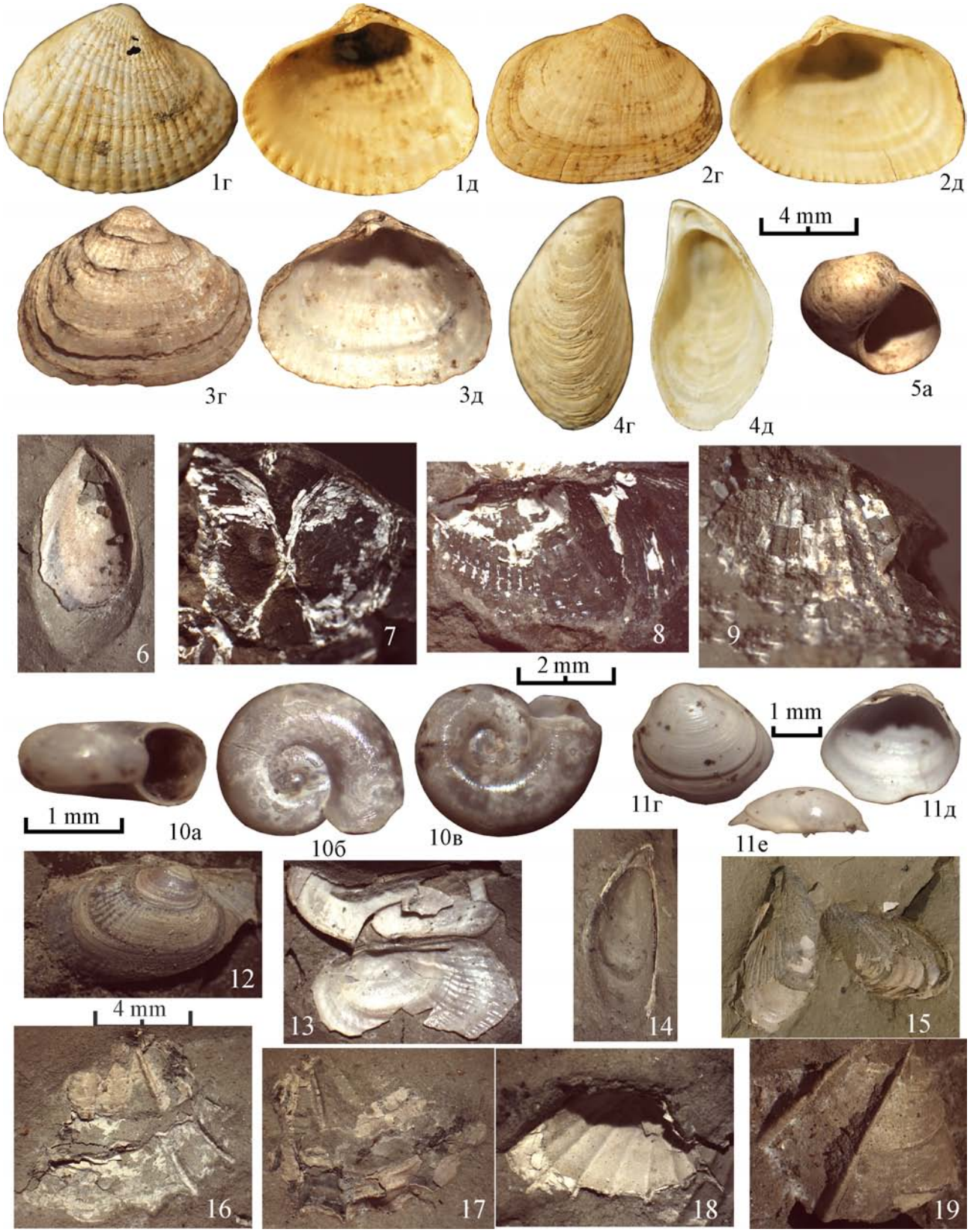


Рис. 4. Моллюски плейстоцена из разреза скважины 3Э

Fig. 4. Pleistocene molluscs of the borehole 3E section

пыльцевой анализ не отбирались) не позволяет проводить корреляцию со скважиной Косика 2, где для соответствующих отложений были выделены палиноспектры, характеризующие аридные степные пространства.

Спектры нижнего хазара из скважины 3Э (СП 2–6, ПК XII) можно сопоставить с палинокомплексом 6 из скважины Косика 2, который характеризует более аридные и прохладные условия. При этом отмечается увеличение доли травянистых растений (*Artemisia* sp., Chenopodiaceae, Asteraceae). Среди отличий можно отметить, что в составе образцов скважины 3Э не идентифицированы споры *Azolla* sp., обнаруженные в нижней части нижнехазарских отложений скважины Косика 2, и зерна *Selaginella selaginoides*, выделенные из проб верхней части нижнего хазара.

В целом образцы из скважины 3Э содержат довольно низкое количество пыльцы в своем составе, удалось выделить всего 34 спектра из 152 проанализированных проб. Столь прерывистое появление репрезентативных палиноспектров, а также пробелы в отборе проб не позволяют воссоздать полную поэтапную картину развития растительного мира на изучаемой территории в тюркянское, бакинское и нижнехазарское время, тем не менее данные палинологического анализа, полученные для скважин 3Э и Косика 2, хорошо коррелируют между собой.

Agonum (*Olisares*) *lugens* (Duftschmid, 1812) — западнопалеарктический вид, распространенный в пределах юга лесной зоны, в лесостепи и степи, на восток от Западной Европы до Алтае-Саянской горной системы [Carabidae of the World...; Kryzhanovskij et al., 1995]. Эти данные хорошо коррелируются с ПК 1, реконструирующим лесостепные ландшафты на территории исследований в апшеронское время.

Выводы

В результате исследований было описано 320 м керна скважины, выделены морские фации апшеронского, аллювиальные и озерно-лиманные осадки тюркянского, морские отложения хвалынского горизонтов. Учитывая данные по соседним скважинам и литологическую характеристику, породы в интервале 110–77.5 м условно сопоставлены

⟵ **К рис. 4. 1–5** — хвалынский горизонт, верхний неоплейстоцен. **1** — *Didacna* ex gr. *parallela-protracta*, (деформированная створка), IG № 255/4610/829, гл. 1.5 м; **2** — *Didacna parallela* (Bogatschev), IG № 255/4610/900, гл. 1.5 м; **3** — *Didacna protracta* (Eichwald), IG № 255/4610/89, гл. 1.5 м; **4** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), IG № 255/4610/934, гл. 1.5 м; **5** — *Viviparus* sp., IG № 255/4610/159, гл. 1.5 м. 1–4 — правые створки. **6–8** — хазарский горизонт (верхний подгоризонт), верхний неоплейстоцен **6** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), правая створка изнутри, IG № 255/4611/180, гл. 34.9 м; **7** — Cardiidae, отпечаток двух створок изнутри, IG № 255/4612/214, гл. 44.5 м; **8** — Cardiidae, отпечаток правой створки изнутри, IG № 255/4612/220, гл. 44.5 м. **9** — бакинский горизонт, нижний неоплейстоцен. Cardiidae, фрагмент отпечатка правой створки изнутри, IG № 255/4615/69, гл. 101.8 м. **10–11** — тюркянский горизонт, нижний неоплейстоцен. **10** — *Gyraulus* sp., IG № 255/4619/1, гл. 128.7 м; **11** — *Pisidium* sp., левая створка, IG № 255/4616/1, гл. 112.8 м. **12–19** — апшеронский горизонт, эоплейстоцен. **12** — *Monodacna* cf. *caspia* (Eichwald), IG № 255/4633/394, фрагмент правой створки, вид снаружи, гл. 173.0 м; **13** — *Adacna* sp., фрагмент раковины с двумя створками, вид изнутри, IG № 255/4626/333, гл. 166.4 м; **14** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), отпечаток левой створки изнутри, IG № 255/4690/90, гл. 230.2 м; **15** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), два отпечатка левой и правой створок, вид снаружи, IG № 255/4695/971, гл. 231.9 м; **16** — *Parapsheronia raricostata* (Sjoegren), фрагмент отпечатка левой створки, вид изнутри, IG № 255/4692/108, гл. 230.8 м; **17** — *Parapsheronia raricostata* (Sjoegren), фрагмент отпечатка левой створки, вид снаружи, IG № 255/4692/118, гл. 230.8 м; **18** — *Parapsheronia raricostata* (Sjoegren), отпечаток левой створки, вид изнутри, IG № 255/4660/36, гл. 215.1 м; **19** — *Parapsheronia* sp., фрагмент отпечатка левой створки, вид изнутри, IG № 255/4638/419, гл. 178.0 м. **а** — вид со стороны устья, **б** — вид сверху, **в** — вид со стороны пупка, **г** — створка снаружи, **д** — створка изнутри, **е** — вид со стороны макушки.

To fig. 4. 1–5 — Khvalyn Horizon, Upper Neopleistocene. **1** — *Didacna* ex gr. *parallela-protracta* (deformed valve), IG No. 255/4610/829, a depth is 1.5 m; **2** — *Didacna parallela* (Bogatschev), IG No. 255/4610/900, a depth is 1.5 m; **3** — *Didacna protracta* (Eichwald), IG No. 255/4610/89, a depth is 1.5 m; **4** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), IG No. 255/4610/934, a depth is 1.5 m; 5 — *Viviparus* sp., IG No. 255/4610/159, a depth is 1.5 m. 1–4 — the right valves. **6–8** — Khazar Horizon (Upper subhorizon), Upper Neopleistocene. **6** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), a right valve internal view, IG No. 255/4611/180, a depth is 34.9 m; **7** — Cardiidae, a print of a shell with two valves, internal view, IG No. 255/4612/214, a depth is 44.5 m; **8** — Cardiidae, a right valve print internal view, IG No. 255/4612/220, a depth is 44.5 m. **9** — Baku Horizin. Lower Neopleistocene. Cardiidae, a fragment of a right valve print from inside, IG No. 255/4615/69, a depth is 101.8 m. **10–11** — Tyurkyan Horizon, Lower Neopleistocene. **10** — *Gyraulus* sp., IG No. 255/4619/1, a depth is 128.7 m; **11** — *Pisidium* sp., a left valve, IG No. 255/4616/1, a depth is 112.8 m. **12–19** — Apsheron Horizon, Eopleistocene. **12** — *Monodacna* cf. *caspia* (Eichwald), a right valve fragment, external view, IG No. 255/4633/394, a depth is 173.0 m; **13** — *Adacna* sp., a shell fragment with two valves, internal view, IG No. 255/4626/333, a depth is 166.4 m; **14** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), a right valve print internal view, IG No. 255/4690/90, a depth is 230.2 m; **15** — *Dreissena rostriformis distincta* (Andrussov), two prints of the right and left valves external view, IG No. 255/4695/971, a depth is 231.9 m; **16** — *Parapsheronia raricostata* (Sjoegren), a left valve print fragment internal view, IG No. 255/4692/108, a depth is 230.8 m; **17** — *Parapsheronia raricostata* (Sjoegren), a left valve print fragment external view, IG No. 255/4692/118, a depth is 230.8 m; **18** — *Parapsheronia raricostata* (Sjoegren), a left valve print internal view, IG No. 255/4660/36, a depth is 215.1 m; **19** — *Parapsheronia* sp., a left valve print fragment internal view, IG No. 255/4638/419, a depth is 178.0 m. **а** — apertural view, **б** — top view, **в** — umbilical view, **г** — external view, **д** — internal view, **е** — top view.

Рис. 5. ***Agonum*** **(*Olisares*) *lugens* (Duftschmid, 1812) из отложений апшерона (глубина 311 м)**

Fig. 5. ***Agonum*** **(*Olisares*) *lugens* (Duftschmid, 1812) from the Apsheron deposits (depth is 311 м)**

с бакинским горизонтом, в интервале 77.5–15.0 м — с хазарским горизонтом.

При обобщении полученных результатов палинологического анализа можно отметить, что во время накопления отложений из нижней и средней частей скважины (инт. 318.0–137.6 м) были распространены лесостепные ландшафты. При этом соотношение площадей, занятых хвойными и хвойно-мелколиственными лесами, открытыми ландшафтами с полупустынной и степной растительностью и заболоченными участками периодически изменялось. Так ПК I, III, V характеризуют преобладание открытых пространств, ПК II, IV, VI и VII — лесов и заболоченных территорий. Эти данные характеризуют время накопления апшеронских отложений.

В верхней части скважины (инт. 129.7–34.9 м) выявлены палинокомплексы, характеризующие как лесные (ПК VIII, XI) так и лесостепные (ПК IX, X, XII) ландшафты. Причем в начале накопления тюркянских отложений существовали лесные ландшафты в условиях гумидного климата, позднее — лесостепные и климат стал аридным. В начале накопления бакинских отложений в условиях гумидного климата были распространены лесные ландшафты. В середине накопления хазарских отложений отмечено распространение лесостепных ландшафтов в условиях аридного климата.

Таким образом, изучение разреза скважины 3Э позволило расширить палеонтологическую характеристику (моллюски, споры и пыльца) апшеронских, тюркянских, бакинских и нижнехазарских отложений плейстоцена Нижней Волги.

Авторы благодарны руководству Приволжской гидрогеологической экспедиции за предоставленный для изучения керн скважины.

Работа выполнена в рамках государственных контрактов с Роснедра (№ АМ-02-34/29 от 13.06.2007 г., № АМ-02-34/28 от 16 мая 2011 г., № АМ-02-34/12 от 20.02.2014 г., № К.41.2012.007 от 28.03.2012 г.) (полевые работы), государственных бюджетных тем № 0252-2014-0006, № 0252-2016-0006 (лабораторные исследования) и частично в рамках государственной программы повышения конку-

рентоспособности Казанского (Приволжского) федерального университета среди ведущих мировых научно-образовательных центров (полевые работы).

Список литературы:

Гричук В.П. Материалы к палеоботанической характеристике четвертичных и плиоценовых отложений северо-западной части Прикаспийской низменности // Труды института географии. – 1954. – Т. 61. – С. 5–79.

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. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2017. – С. 40–64.

Carabidae of the World: *Agonum* (*Olisares*) *lugens* (Duftschmid, 1812). http://carabidae.org/taxa/lugens-duftschmid-1812 (дата обращения 16.02.2018).

Kryzhanovskij O.L., Belousov I.A., Kabak I.I., Kataev B.M., Makarov K.V., Shilenkov V.G. A Checklist of the Ground-Beetles of Russia and Adjacent Lands (Insecta, Coleoptera, Carabidae). – Sofia; Moscow: Pensoft, 1995. – 272 p.

References:

Carabidae of the World: *Agonum* (*Olisares*) *lugens* (Duftschmid, 1812). http://carabidae.org/taxa/lugens-duftschmid-1812 (date viewed 16.02.2018).

Danukalova G.A., Zastrozhnov 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)] // Geologicheskiy sbornik No. 14 / IG UNTS RAN. Ufa: DizaynPoligrafServis, 2017. P. 40–64 (in Russian)

Grichuk V.P. Materialy k paleobotanicheskoy kharakteristike chetvertichnykh i pliotsenovykh otlozheniy severo-zapadnoy chasti Prikaspiyskoy nizmennosti [Materials to the paleobotanical characteristics of Quaternary and Pliocene deposits of the northwestern part of the Caspian lowland] // Trudy instituta geografii [Proceedings of the Institute of Geography]. 1954. T. 61. P. 5–79 (in Russian).

Kryzhanovskij O.L., Belousov I.A., Kabak I.I., Kataev B.M., Makarov K.V., Shilenkov V.G. A Checklist of the Ground-Beetles of Russia and Adjacent Lands (Insecta, Coleoptera, Carabidae). Sofia; Moscow: Pensoft, 1995. 272 p.

Сведения об авторах:

Данукалова Гузель Анваровна, 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: danukalova@ufaras.ru

Курманов Равиль Гадельевич, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. E-mail: ravil_kurmanov@mail.ru

Осипова Евгения Михайловна, 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

Застрожнов Андрей Станиславович, Федеральное государственное бюджетное учреждение Всероссийский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург. E-mail: andrey_zastrozhnov@vsegei.ru

Зиновьев Евгений Витальевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт экологии растений и животных УрО РАН, г. Екатеринбург. E-mail: zin62@mail.ru

About the autors:

Danukalova Guzel, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAN), Ufa; Kazan Federal University (KFU), Kazan. E-mail: danukalova@ufaras.ru

Kurmanov Ravil, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAN), Ufa. E-mail: ravil_kurmanov@mail.ru

Osipova Evgeniya, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAN), Ufa. E-mail: myrte@mail.ru

Zastrozhnov Andrey, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), Saint Petersburg. E-mail: andrey_zastrozhnov@vsegei.ru

Zinoviev Evgeny, Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (IPAE UB RAS), Ekaterinburg. E-mail: zin62@mail.ru

УДК 550.384.5 DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-8

ПАЛЕОМАГНИТНОЕ ИЗУЧЕНИЕ НИЖНЕКАМЕННОУГОЛЬНЫХ ВУЛКАНИТОВ МАГНИТОГОРСКО-БОГДАНОВСКОГО ГРАБЕНА

© 2018 г. К. Н. Данукалов, И. В. Голованова, Р. Ю. Сальманова

Реферат: В работе приведены новые результаты палеомагнитного изучения нижнекаменноугольных вулканитов Центрально-Магнитогорской зоны Южного Урала с целью независимой оценки геологических представлений об истории развития Магнитогорской островной дуги. В качестве объектов исследования было выбрано 9 разрезов эффузивных пород греховской и березовской свит преимущественно основного состава, расположенных в меридиональном течении р. Урал от с. Кизильское на севере до д. Ершовка на юге. Лабораторные палеомагнитные исследования проводились в соответствии с общепринятой в настоящее время методикой, включающей в себя температурную магнитную чистку и компонентный анализ выделенных направлений намагниченности. Полученное по 21 сайту среднее направление высокотемпературной компоненты намагниченности и вычисленная по нему палеоширота практически совпадают с мировыми данными для восточной окраины палеоконтинента Балтика. Следовательно, по палеомагнитным данным Центрально-Магнитогорская зона в раннекаменноугольное время являлась частью континента. Анализ среднетемпературных компонент намагниченности позволяет сделать предположение, что основная часть деформаций на территории Магнитогорско-Богдановского грабена произошла позже, чем в изученных авторами ранее частях Западно-Магнитогорской зоны.
Ключевые слова: палеомагнетизм, высокотемпературная компонента намагниченности, полюс, карбон, Южный Урал, Магнитогорско-Богдановский грабен

PALEOMAGNETIC STUDY OF THE LOWER CARBONIFEROUS VOLCANITES IN THE MAGNITOGORSK-BOGDANOVKA GRABEN

K. N. Danukalov, I. V. Golovanova, R. Yu. Sal'manova

Abstract: New paleomagnetic data on the Lower Carboniferous volcanites of the Central-Magnitogorsk zone (Southern Urals) are represented in the paper. An independent assessment of the geological concepts of the history of the Magnitogorsk Island Arc development was the main aim of our study. Nine sections of effusive basic rocks which are attributed to the Grekhovskaya and Berezovskaya Formations, located in the meridional current of the Ural River between Kizilskoe and Ershovka villages were chosen for our study. Paleomagnetic investigations were conducted in accordance with the generally accepted up-to-date methodology including thermal magnetic cleaning and component analysis of identified directions of magnetization. The average direction of the high-temperature component of remanence obtained from the 21 sites and the paleolatitude calculated from it practically coincide with the world-known data for the eastern margin of the paleocontinent Baltica. Consequently, based on the paleomagnetic data, it can be concluded that during the early Carboniferous period the Central Magnitogorsk Zone was part of Baltica continent. An analysis of the middle-temperature components of magnetization allows to conclude that the bulk of the deformations in the territory of the Central part of the Magnitogorsk Zone (Magnitogorsk-Bogdanovka graben) occurred later than in the West-Magnitogorsk Zone studied by the authors.
Keywords: paleomagnetism, high-temperature component of magnetization, pole, Carboniferous, Southern Urals, Magnitogorsk-Bogdanovka graben

Для цитирования: Данукалов К.Н., Голованова И.В., Сальманова Р.Ю. Палеомагнитное изучение нижнекаменноугольных вулканитов Магнитогорско-Богдановского грабена // Геологический вестник. 2018. №2. С. 110–117. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-8.

For citation: Danukalov K.N., Golovanova I.V., Sal'manova R.Yu. Paleomagnetic study of the Lower Carboniferous volcanites in the Magnitogorsk-Bogdanovka graben // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 110–117. DOI: http://doi.org/ 10.31084/2619-0087/2018-2-8.

Магнитогорская мегазона Южного Урала представляет собой сохранившиеся фрагменты островодужной системы, активно развивавшейся в девонском периоде. По современным представлениям [Пучков, 2000, 2010] в девоне в Палеоуральском океане напротив южноуральской части пассивной окраины континента Балтика сформировалась Магнитогорская островная дуга, находившаяся над зоной субдукции, падавшей от континента (в современных координатах — к востоку). В позднем девоне произошло столкновение континента и островной дуги (мягкая коллизия), в результате чего Магнитогорская островодужная система аккретировала к окраине Восточно-Европейского континента, нарастив его. К концу фаменского времени процесс раннего этапа окраинно-континентальной аккреции завершился. Граница формирующейся окраины континента переместилась в область современного Тургайского прогиба. Здесь в раннем карбоне сформировалась новая зона субдукции, имеющая падение в сторону континента и образовавшая активную окраину формирующегося континента. В тылу активной окраины образовалась рифтовая зона, с которой связано накопление субщелочных контрастных вулканитов березовской и греховской свит Центрально-Магнитогорской зоны. Палеомагнитные данные в отмеченном возрастном интервале могут служить дополнительным независимым тестом оценки этих геологических представлений. Надежных палеомагнитных определений раннекаменноугольного возраста в изучаемом районе к началу наших работ опубликовано не было. Целью настоящей работы является получение новых надежных палеомагнитных данных по нижнекаменноугольным вулканитам центральной части Магнитогорско-Богдановского грабена, занимающего среднюю и восточную части Центрально-Магнитогорской зоны. Необходимо также сравнение этих данных с референтными палеомагнитными направлениями для палеоконтинента Балтика.

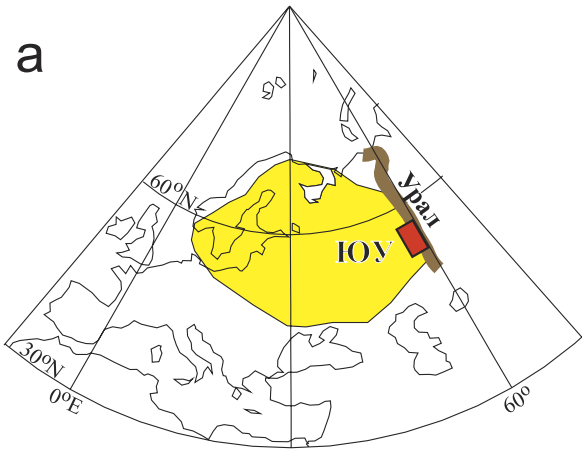
В Центрально-Магнитогорской зоне [Салихов, Яркова, 1992] выделяются березовская, греховская и кизильская свиты, охватывающие интервал времени от позднего турне до раннебашкирского. Стратиграфическое расчленение этих вулканогенных толщ и осадочных образований, перекрывающих и частично замещающих их фациально, непростое и нередко противоречивое. Березовская свита представлена туфопесчаниками, туфоконгломератами, туфоалевролитами, вулканомиктовыми песчаниками, базальтами, спилитами, редко риолитами. Свита содержит прослои известняков и датирована по фораминиферам в возрастном интервале поздний турне – начало позднего визе, однако в конкретных разрезах и верхняя, и нижняя граница свиты имеют скользящий характер. Вышележащая греховская свита сложена преимущественно базальтами, реже андезибазальтами, трахириолитами, трахириодацитами, с подчиненными прослоями туфогенных пород и известняков с фораминиферами. Возраст ее верхней и нижней границ — также скользящий, в пределах конца раннего и всего позднего визе. Кизильская свита представлена известняками, содержащими фораминиферы, конодонты и брахиоподы от верхов нижнего визе до низов башкирского яруса, нижняя часть свиты в ряде разрезов фациально замещается вулканитами. Скользящий характер границ свит [Пучков, 2000] связан с пространственным изменением возраста вулканического процесса, характерным для вулканизма рифтов и горячих точек.

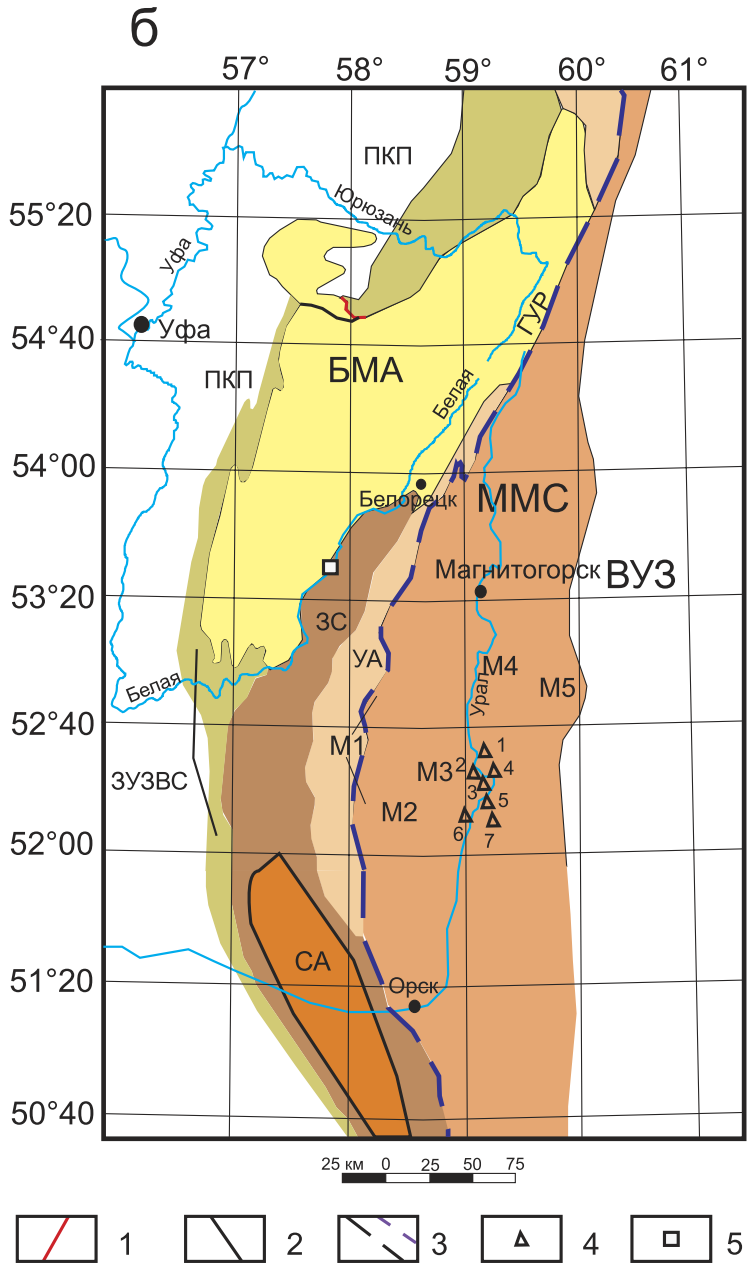
Нами было изучено 9 разрезов нижнекаменноугольных вулканитов греховской и березовской свит в меридиональном течении р. Урал, расположенных от р. Греховка на севере до устья р. Бол. Караганка на юге (рис. 1). Всего было опробовано более 600 образцов, разбитых на сайты по 8–10 образцов в каждом. Интерпретируемые результаты получены по 8 разрезам (табл.).

Лабораторные исследования проводились в соответствии с общепринятой в настоящее время методикой. Для выделения компонент естественной остаточной намагниченности (J_n) применялся метод температурной чистки, подразумевающий разделение вектора J_n на компоненты по их стабильности к воздействию высоких температур. По одному образцу из всех штуфов были подвергнуты ступенчатому температурному размагничиванию вплоть до 700°С с использованием терморазмагничивающей печи TD-48 фирмы ASC Scientific. Естественная остаточная намагниченность и ее компоненты, выделяемые при магнитной чистке, измерялись на спиннер-магнитометре JR-6 фирмы «Agico».

Для определения направлений компонент намагниченности использовались линейные участки траекторий векторов на диаграммах Зийдервельда. Далее компоненты анализировались на уровне сайтов при помощи пакета программ Р. Энкина и Ж.-П. Конье [Enkin, 1994; Cogné, 2003].

Абсолютная величина естественной остаточной намагниченности образцов варьирует в широких пределах, но в целом для лавовых потоков





характеризуется высокими значениями. На диаграммах Зийдервельда выделяются от 1 до 3 компонент намагниченности. Низкотемпературная компонента разрушается при нагреве до 200–250°С, и ее среднее направление соответствует направлению современного магнитного поля.

В существенном количестве изученных сайтов выделяется среднетемпературная компонента намагниченности, соответствующая широко распростра-

Рис. 1. Положение палеоконтинента Балтика с докембрийским основанием (выделено желтым), Урала и изучаемого региона (а); Упрощенная структурно-тектоническая карта Южного Урала с указанием точек отбора образцов (б)

Условные обозначения: 1 — граница между структурами 1-го порядка; 2 — граница между структурами 2-го порядка; 3 — крупнейшие тектонические разломы; толстым (синий пунктир) показан Главный Уральский разлом; 4 — опробованные разрезы; 5 — положение разреза Кага. **Сокращения:** ЮУ — Южный Урал; ПКП — Предуральский краевой прогиб; ЗУЗВС — Западно-Уральская зона внешней складчатости; БМА — Башкирский мегантиклинорий; ЗС — Зилаирский синклинорий; УА — Уралтауский антиклинорий; ГУР — Главный уральский разлом; ММС — Магнитогорский мегасинклинорий; М1 — Вознесенско-Присакмарская зона; М2, М3 — Западно-Магнитогорская зона: М2 — Ирендыкская подзона; М3 — Кизило-Уртазымская подзона; М4 — Центрально-Магнитогорская зона; М5 — Восточно-Магнитогорская зона; ВУЗ — Восточно-Уральская зона. **Разрезы, по которым получены интерпретируемые результаты:** 1 — Греховка; 2 — Соколки–1; 3 — Соколки–2 и Ущелье; 4 — д. Урал; 5 — Левый берег; 6 — Каменка; 7 — Караганка.

Fig. 1. The location of the Baltica block with Precambrian basement (highlighted in yellow), the Urals and the region under study (a); Schematic structural-tectonic map of the Southern Urals with indication of sampling points (b)

Legend: 1 — The boundary between the 1-order structures; 2 — The boundary between the 2-order structures; 3 — The largest tectonic faults; thick (blue dashed) line is the Main Uralian Fault; 4 — Sections under investigation; 5 — Position of the Kaga section. **Abbreviations:** ЮУ — Southern Urals; ПКП — Pre-Uralian foredeep; ЗУЗВС — West Uralian frontal folding zone; БМА — Bashkirian Meganticlinorium; ЗС — Zilair Synclinorium; УА — Uraltau Anticlinorium; ГУР — Main Uralian Fault; ММС — Magnitogorsk Megasynclinorium; М1 — Voznesensk-Prisakmarskaya Subzone; М2, М3 — West Magnitogorsk Zone: М2 — Irendyk Subzone; М3 — Kizil-Utrazym Subzone; М4 — Central Magnitogorsk Zone; М5 — East Magnitogorsk Zone; ВУЗ — East Uralian Zone. **Sections for which interpreted results were obtained:** 1 — Grekhovka; 2 — Sokolki–1; 3 — Sokolki–2 and Ravine; 4 — Ural village; 5 — Left bank; 6 — Kamenka; 7 — Karaganka.

ненному на Урале позднепалеозойскому перемагничиванию. Средние по всем сайтам направления этой компоненты в изученных разрезах лучше сгруппированы в древней системе координат [Хидиятов и др., 2015] в отличие от большей части разрезов Западно-Магнитогорской зоны, где аналогичная компонента чаще послескладчатая [Голованова и др., 2016]. Максимальная кучность направлений получается в разных разрезах при распрямлении складки от 55% до 80%, что свидетельствует о возникновении этой намагниченности в процессе деформации или незадолго до

Таблица

Палеомагнитные направления высокотемпературной компоненты намагниченности изученных разрезов

Table

High-temperature component directions in the rocks of the studied sections

Сайт	n	АП/УП	ССК				ДСК			
			D	I	k	α_{95}	D	I	k	α_{95}
Греховка (N 52°45’, E 58°57’)										
M3490	7/6	249/41	282.4	19.7	30.0	12.4	282.2	–18.5	30.0	12.4
M3497	7/6	249/41	261.3	11.1	51.3	9.4	261.4	–29.9	51.3	9.4
P3721	8/6	274/52	77.1	–49.2	46.8	9.9	87.2	–0.6	46.8	9.9
P3729	9/8	274/52	68.1	–45.4	30.2	10.2	80.1	0.2	30.2	10.2
Соколки–1 (N 52°37', E 58°58’)										
M3433	7/7	297/40	241.3	45.5	24.4	12.5	264.2	21.6	24.4	12.5
M3440	7/7	297/40	265.2	3.2	29.4	11.3	259.4	–25.3	29.4	11.3
P3670	8/8	297/40	252.7	–7.1	34.0	9.6	241.4	–27.3	34.0	9.6
P3678	9/6	277/48	252.2	14.6	8.4	24.5	249.5	–24.5	8.4	24.5
N6516	8/6	284/41	252.0	2.5	32.6	11.9	245.4	–26.5	32.6	11.9
Соколки–2 (N 52°36', E 58°58’)										
P3328	9/9	272/41	74.4	–10.5	69.3	6.2	72.4	27.4	84.9	5.6
M3469	7/7	282/40	118.6	–34.1	61.2	7.8	117.7	5.8	61.2	7.8
P4070	7/6	299/31	245.8	18.7	27.2	13.1	249.7	–1.0	27.2	13.1
P4155	8/6	280/50	74.4	–73.5	15.5	17.6	92.2	–24.9	15.5	17.6
Ущелье (N 52°35', E 58°57’)										
N6561	8/6	282/35	257.8	32.0	9.8	22.6	263.7	2.1	9.8	22.6
д. Урал (N 52°36', E 59°00’)										
P3992	9/6	287/33	256.2	26.8	20.7	15.1	258.9	–3.6	16.6	16.9
P4010	8/5	149/12	235.4	–14.2	15.5	20.0	238.5	–14.6	15.5	20.0
Левый берег (N 52°33', E 59°00’)										
P4209	8/4	285/27	237.5	28.9	34.8	15.8	244.1	9.3	34.8	15.8
Каменка (N 52°32', E 59°00’)										
P3337	14/4	267/29	65.8	0.8	14.6	24.9	62.9	27.6	14.6	24.9
P3765	8/4	279/29	96.3	–2.2	13.4	26.0	96.0	26.8	13.4	26.0
P4062	8/3	301/41	244.7	11.5	49.3	17.7	245.1	–9.7	49.3	17.7
Караганка (N 52°29', E 59°08’)										
P3967	9/9	70/25	237.7	–29.3	83.2	5.7	239.3	–7.5	66.0	6.4
Среднее	**21**		**255.0**	**18.1**	**8.9**	**11.3**	**257.6**	**–10.9**	**13.4**	**9.0**
104.4%							**257.5**	**–12.2**	**13.4**	**9.0**

Примечания: n — количество образцов в сайте всего/использовано (в предпоследней строке — количество сайтов), АП/УП — элементы залегания пород, ССК и ДСК — современная и древняя системы координат, D и I — магнитные склонение и наклонение, k — кучность распределения векторов, α_{95} — радиус овала доверия.

Notes: n — the number of samples in the site studied/used (in the penultimate line — the number of sites), АП/УП — dip direction / angle, ССК and ДСК — geographic and stratigraphic coordinate systems, D and I — magnetic declination and inclination, k — concentration parameter, α_{95} —the radius of 95% confidence circle.

складкообразования и на начальных его этапах. Следует отметить, что в отдельных разрезах (например, Соколки) направление среднетемпературной компоненты намагниченности совпадает с пермским в современной системе координат. Это позволяет сделать предположение о сложном характере деформаций в изучаемом регионе, однако в целом деформации здесь произошли позже, чем в изученных нами разрезах других частей Западно-Магнитогорской зоны, что не противоречит представлениям геологов о времени проявления тектонических процессов в Магнитогорско-Богдановском грабене.

Высокотемпературная компонента намагниченности, иногда биполярная, выделена в значительном большинстве изученных образцов эффузивных пород. Носителем этой компоненты является в основном магнетит, реже — гематит. Разброс направлений высокотемпературных компонент довольно большой. Иногда в отдельных потоках вулканогенных пород (например, в разрезе Соколки–2) четко выделяются направления высокотемпературной компоненты с северо-восточным склонением и крутым отрицательным наклонением, что резко отличается от направлений в большинстве других потоков и труднообъяснимо вековыми вариациями магнитного поля. Уверенно сказать о природе этой компоненты пока нельзя, возможно, она является неразделенной суммой других компонент. Интерпретируемый результат получен по 21 сайту эффузивов, чаще основного, но иногда и кислого состава (рис. 2, 3; табл.).

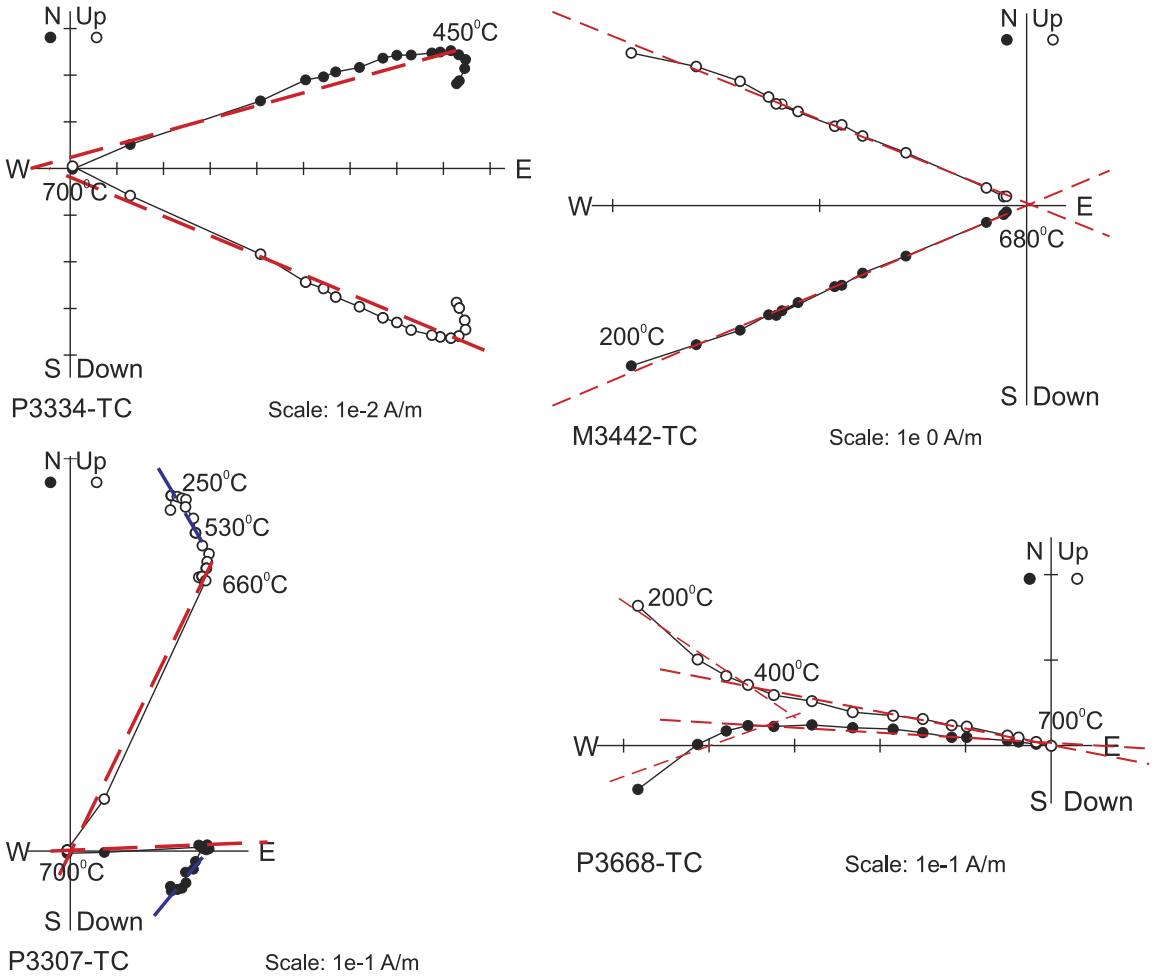


Рис. 2. Примеры диаграмм Зийдервельда для изученных нижнекаменноугольных базальтов в древней системе координат

Пунктиром показаны выделенные компоненты намагниченности. Светлые символы — проекции векторов J_n на вертикальную, темные — на горизонтальную плоскости. Температуры даны в °C.

Fig. 2. Examples of Zijderveld diagrams for the studied Lower Carboniferous basalts in ancient (stratigraphic) coordinates

The dashed line shows the isolated components of the magnetization. Full (open) circles represent vector endpoints projected onto the horizontal (vertical) plane. Temperatures are given in °C.

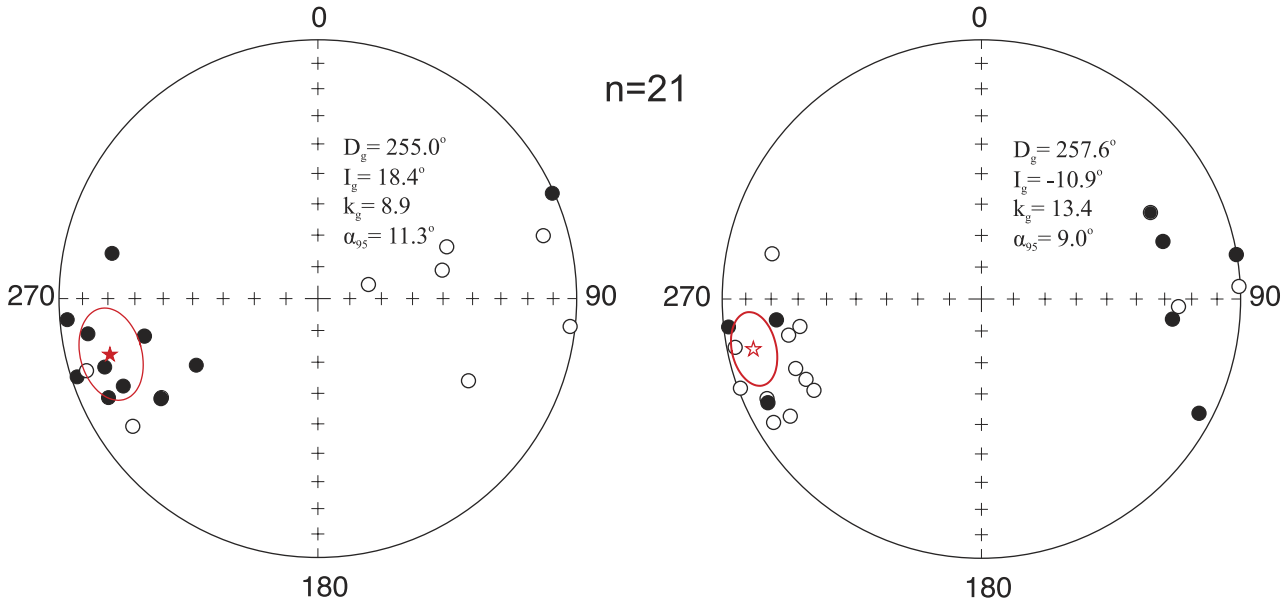


Рис. 3. Стереограммы направлений высокотемпературной компоненты намагниченности (ВТК) для изученных нижнекаменноугольных разрезов в современной и древней системе координат

Залитые/незалитые символы — проекции на нижнюю/верхнюю полусферу.

Fig. 3. Stereoplots of the high-temperature component (HTC) for the studied Lower Carboniferous sections in situ and after tilt correction

Full/open symbols are projected onto the lower/upper hemisphere correspondingly.

Среднее направление по 21 сайту значительно лучше группируется в древней системе координат и составляет D = 257.6°, I = –10.9°, k = 13.4, α_{95} = 9.0° (табл.). Тест обращения для высокотемпературной компоненты положительный, класс C, $\gamma/\gamma_{кр}$ = 9.9/19.4. Тест складки, выполненный в модификации direction – correction Р. Энкина [Enkin, 2003], дает положительный результат. Это позволяет считать выделенную компоненту намагниченности первичной.

В изученных нами разрезах одновозрастных пород на восточной окраине Восточно-Европейского континента первичная намагниченность не сохранилась. Поэтому для оценки взаимного расположения континента и островной дуги использованы данные о положении полюса для палеоконтинента Балтика из обзорной статьи [Torsvik et al., 2012], пересчитанные в палеомагнитные направления для окраины континента (точка Кага).

Пересчитанное из вышеупомянутой работы Т. Торсвика и др. палеомагнитное направление для района Каги составляет D = 260.1°, I = –8.5°, α_{95} = 8.2°. Вычисленная по палеомагнитному наклонению палеоширота изученной части Центрально-Магнитогорской зоны составляет 5.5°±8.1°. Положение ближайшего края Восточно-Европейского континента в раннекаменноугольное время, вычисленное относительно палеомагнитного полюса Балтики из работы Т. Торсвика и др., соответствует палеошироте 4.3°±8.2° для 340 млн. лет. Следовательно, одновозрастные палеомагнитные направления и палеошироты изученной части Магнитогорской островной дуги и восточной окраины Восточно-Европейского континента практически совпадают. Это позволяет сделать предположение о том, что Центрально-Магнитогорская зона в раннекаменноугольное время являлась частью континента.

Результаты проведенных палеомагнитных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. В раннем карбоне Магнитогорская зона составляла единое целое с Восточно-Европейским континентом.

2. Основная часть деформаций на территории Магнитогорско-Богдановского грабена произошла позже, чем в изученных ранее частях Западно-Магнитогорской зоны, возможно, даже в ранней перми.

Таким образом, полученные палеомагнитные данные не противоречат современным геологическим представлениям об истории столкновения

Магнитогорской островной дуги с пассивной окраиной континента.

Авторы выражают признательность д-ру геол.-мин. наук Д.Н. Салихову за практическую помощь (включающую полевые работы) в выборе объектов исследования и ценные консультации.

Исследования были выполнены в рамках государственного задания № 0252-2017-0013 и частично при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-05-03036).

Список литературы:

Голованова И.В., Данукалов К.Н., Косарев А.М., Хидиятов М.М., Баженов М.Л. Палеомагнетизм девона Магнитогорской зоны Южного Урала. Предварительные результаты // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: Материалы международной школы-семинара «Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород» . – Ярославль: Филигрань, 2016. – С. 29–35.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. – Уфа: Даурия, 2000. – 146 с.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. – 280 с.

Салихов Д.Н., Яркова А.В. Нижнекаменноугольный вулканизм Магнитогорского мегасинклинория. – Уфа: БНЦ УрО РАН, 1992. – 138 с.

Хидиятов М.М., Голованова И.В., Данукалов К.Н., Кадыров А.Ф., Левашова Н.М., Баженов М.Л. Палеомагнетизм нижнекаменноугольных вулканогенных и осадочных толщ Магнитогорско-Богдановского грабена на Южном Урале. Предварительные результаты // Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика, эксперимент. – Ярославль: Филигрань, 2015. С. 229–234.

Cogné J.P. PaleoMac: a Macintosh application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. – 2003. – V. 4, No. 1. – article no. 1007. – http://dx.doi.org/10.1029/2001GC000227.

Enkin R.I. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. – Pacific Geoscience Centre. Geological Survey of Canada, 1994. – 16 p.

Enkin R.J. The direction-correction tilt test an all purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies // Earth and Planetary Science Letters. – 2003. – V. 212. – P. 151–166.

Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., MacNiocaill C., Steinberger B., Doubrovine P.V., van Hinsbergen D.J.J., Domeir M., Gaina C., Tohver E., Meert J.G., McCausland P.J.A., Cocks R.M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // Earth Science Reviews. – 2012. – V. 114. – P. 325–368.

References

Cogné J.P. PaleoMac: a Macintosh application for treating paleomagnetic data and making plate reconstructions // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2003. V. 4, No. 1. article No. 1007. http://dx.doi.org/10.1029/2001GC000227.

Enkin R.I. A computer program package for analysis and presentation of paleomagnetic data. Pacific Geoscience Centre. Geological Survey of Canada, 1994. 16 p.

Enkin R.J. The direction-correction tilt test an all purpose tilt/fold test for paleomagnetic studies // Earth and Planetary Science Letters. 2003. V. 212. P. 151–166.

Golovanova I.V., Danukalov K.N., Kosarev A.M., Khidiyatov M.M., Bazhenov M.L. Paleomagnetizm devona Magnitogorskoy zony Yuzhnogo Urala. Predvaritelnye rezultaty [Devonian paleomagnetism of the Magnitogorsk Zone in the Southern Urals. Preliminary results] // Materialy mezhdunarodnoy shkoly-seminara “Problemy paleomagnetizma i magnetizma gornykh porod” [Proceedings of the International Workshop-School “Problems of Paleomagnetism and Rock Magnetism”] / Shmidt Institute of Physics of the Earth, St. Petersburg State University. Yaroslavl: Filigran, 2016. P. 29–35 (in Russian).

Khidiyatov M.M., Golovanova I.V., Danukalov K.N., Kadyrov A.F., Levashova N.M., Bazhenov M.L. Paleomagnetizm nizhnekamennougolnykh vulkanogennykh i osadochnykh tolshch Magnitogorsko-Bogdanovskogo grabena na Yuzhnom Urale. Predvaritelnye rezultaty [Paleomagnetism of Lower Carboniferous volcanogenic and sedimentary rocks in the Magnitogorsk-Bogdanovka Graben of the Southern Urals]. // Paleomagnetizm i magnetism gornykh porod: teoriya, praktika, eksepiment [Paleomagnetism and rock magnetism: Theory, practice, experiment] / “Borok” Geophysical Laboratory, Division of the Shmidt Institute of Physics of the Earth. Yaroslavl: Filigran, 2015. P. 229–234 (in Russian).

Puchkov V.N. Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa: Dauria, 2000. 146 p. (in Russian).

Puchkov V.N. Geologiya Urala i Priuraliya (aktualniye voprosy stratigrafiyi, tektoniki, geodinamiki i metallogeniyi) [Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DesignPoligraphService, 2010. 280 p. (in Russian).

Salikhov D.N., Yarkova A.V. Nizhnekamennougolny vulkanizm Magnitogorskogo sinklinoriya [Lower Carboniferous volcanism of the Magnitogorsk synclinorium]. Ufa: BSC UrB RAS, 1992. 138 p. (in Russian).

Torsvik T.H., Van der Voo R., Preeden U., MacNiocaill C., Steinberger B., Doubrovine P.V., van Hinsbergen D.J.J., Domeir M., Gaina C., Tohver E., Meert J.G., McCausland P.J.A., Cocks R.M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics // Earth Science Reviews. 2012. V. 114. P. 325–368.

Сведения об авторах:

Данукалов Константин Николаевич, 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: danukalov@mail.ru

Голованова Инесса Владимировна, доктор физ.-мат. наук, главный 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: golovanova@ufaras.ru
Сальманова Раушания Юрисовна, кандидат физ.-мат. наук, 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: vrushana@mail.ru

About the autors:
Danukalov Konstantin, Scientific researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: danukalov@mail.ru
Golovanova Inessa, doctor of physics and mathematics, Chief scientific researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: golovanova@ufaras.ru
Sal'manova Raushaniya, candidate of physics and mathematics, Scientific researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Ufa. E-mail: vrushana@mail.ru

УДК 556.332.4 DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-9

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕОГЕН-ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ИЗМЕНЕНИЕ ИХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА

© 2018 г. Р. Ф. Абдрахманов

Реферат. В статье рассматриваются фильтрационные свойства неоген-четвертичных глинистых отложений, их роль в формировании подземных вод в целом и в решения ряда практических задач, связанных с различными видами строительства, охраной подземных вод и пр. Полученные данные позволяют констатировать, что водопроницаемость глинистых пород определяется комплексом факторов, среди которых ведущая роль нередко принадлежит факторам, относящимся к категории вторичных, формирующих активную пористость и скважность: трещиноватость, наличие растительных остатков и пр. Сопоставление водопроницаемости пород с их пористостью и содержанием глинистых фракций свидетельствует об отсутствии четкой связи между этими параметрами. При фильтрации через глинистые породы минерализованных вод в результате процессов кристаллизации солей из минерализованных вод нередко происходит рост активной пористости пород, а следовательно — улучшение их фильтрационных свойств.

Ключевые слова: глинистые породы, фильтрационные свойства, техногенные изменения проницаемости пород, охрана подземных вод

FILTRATION PROPERTIES OF THE NEOGENE-QUATERNARY CLAY DEPOSITS AND THEIR CHANGES UNDER THE INFLUENCE OF TECHNOGENESIS

R. F. Abdrakhmanov

Abstract. The article discusses filtering properties of the Neogene-Quaternary clay deposits, their role in the formation of groundwater in general and in solving a number of practical problems associated with various types of construction works, protection of groundwater, etc. The obtained data allow us to conclude that the permeability of clay is defined by a complex of factors, among which the leading role often belongs to the factors that are related to the category of secondary, forming the active porosity and permeability: fracturing, presence of plant remains, etc. Comparison of permeability of rocks, their porosity and clay content indicates the absence of a clear relationship between these parameters. In a process of filtration of mineralized water through clay rocks, crystallization of salts from mineralized water often results in a growth of active porosity of the rocks, and, consequently, in improvement of their filtration properties.

Keywords: clay rocks, filtration properties, technogenic changes of a permeability, protection of groundwater

Введение

Вопрос о проницаемости и гидрогеологической роли глинистых осадков изучен недостаточно и до сих пор является дискуссионным. Вместе с тем исследования в этой области необходимы как для более обоснованных суждений о проблеме формирования подземных вод в целом, так и для решения ряда практических задач, связанных с различными видами строительства, охраной подземных вод и пр. [Абдрахманов, 1993, 2005; Абдрахманов, Попов, 1985, 1990; Попов, Абдрахманов, 2013].

Для цитирования: Абдрахманов Р.Ф. Фильтрационные свойства неоген-четвертичных глинистых отложений и изменение их под влиянием техногенеза // Геологический вестник. 2018. №2. С. 118–124. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-9.

For citation: Abdrakhmanov R.F. Filtration properties of the Neogene-Quaternary clay deposits and their changes under the influence of technogenesis // Geologicheskii vestnik. 2018. No. 2. P. 118–124. DOI: http://doi.org/10.31084/2619-0087/2018-2-9.

В целом процесс фильтрации в них характеризуется большой сложностью. Долгое время господствовало мнение об абсолютной их водонепроницаемости, хотя еще в конце 40-х годов появились работы, свидетельствующие о том, что вертикальная фильтрация через глинистые толщи в определенных условиях может иметь значительные размеры [Мятиев, 1950]. И только в последнее время положение о региональной водопроницаемости глинистых пород получило признание многих исследователей. Было установлено, что фильтрационные свойства глин являются динамичным параметром, зависящим от многих факторов (структурных, текстурных, минералогических, гидрогеологических, биогенных и др.).

От правильной оценки водопроницаемости глинистых пород зависят результаты многих гидродинамических расчетов для обоснования гидротехнического и мелиоративного строительства, искусственного восполнения запасов подземных вод, удаления жидких промышленных отходов, охраны подземных вод от загрязнения и истощения.

Ионно-солевой комплекс глинистых пород, состоящий из растворимых минералов, поровых растворов и адсорбированных ионов — это подвижная литолого-гидрогеохимическая система, формирующаяся под влиянием седиментогенеза и эпигенетических процессов. Последние помимо природных взаимодействий включают и техногенные явления. Роль их особенно велика для самой верхней части зоны гипергенеза, где под влиянием деятельности человека существенно, часто коренным образом, преобразуется геохимическое состояние как подземных вод, так и вмещающих пород.

Материалы и методы исследования

Исследовались фильтрационные свойства четвертичных и неогеновых глинистых отложений, залегающих в пределах зоны аэрации и грунтовых вод, связанных главным образом с изысканиями под мелиоративное и гидротехническое строительство. Выполнено более тысячи полевых определений коэффициентов фильтрации ($K_ф$) методом наливов и откачек из шурфов и скважин, также сотни лабораторных определений проницаемости глинистых пород, в частности проницаемости плиоценовых глин на больших лизиметрах (ГР-80) на водно-балансовой станции созданной под г. Уфа на Дмитриевской оросительной системе. Изучались мезозойско-кайнозойские отложения Предуралья и Южного Урала (включая коры выветривания по палеозойским образованиям, а также техногенные глинистые грунты) в естественных условиях, а также в районах мощного техногенного влияния нефте- и горнодобывающих предприятий, крупных промышленно-урбанизированных агломераций и животноводческих комплексов. При этом анализировались минералогический состав, водорастворимые соли и адсорбированные ионы почвогрунтов зоны аэрации и первых от поверхности водоносных горизонтов зоны гипергенеза.

Глинистые породы в регионе занимают значительное место в разрезах различных стратиграфических подразделений плейстоцена. Среди четвертичных выделяются элювиально-делювиальные (*ed*Q) и делювиальные (*d*Q) отложения, покрывающие чехлом мощностью от 1–3 до 10–15 м водоразделы и пологие склоны, перигляциальные (*pgl*Q), озерные (*lim*Q) и другие осадки, слагающие преимущественно верхние части террас (от 1–5 до 15–20 м) рек Камско-Бельского бассейна и западных притоков Урала. Элювиально-делювиальным суглинкам и глинам свойственно наличие дресвяно-щебнистого материала. В долинах рек глинистые породы более отсортированы по механическому составу. Содержание глинистых фракций в них возрастает от склонов долин к руслам рек. В этом же направлении, как правило, наблюдается и увеличение мощности глинистых пород.

Широко распространены глинистые отложения также в морском и континентальном среднем и верхнем акчагыле ($N_2^3ak_{2-3}$), а также в континентальном нижнем и среднем апшероне ($N_2^3ap_{1-2}$). В указанных стратиграфических подразделениях они обычно залегают в верхних частях разреза. На междуречных пространствах и склонах долин мощность акчагыльских глин достигает 20–25 м, а апшеронских суглинков — 5–10 м.

К югу от широты г. Стерлитамак неоген представлен миоценом (N_1), разрезы которого мощностью до 50 м также имеют существенно глинистый состав. Промежуточное возрастное положение между плиоценом и плейстоценом занимает общесыртовая свита (N_2^3–Q_1), являющаяся продуктом озерно-делювиальной аккумуляции. Она в основном сложена глинами и суглинками мощностью до 20–30 м и более, плащеобразно перекрывающими более древние отложения.

На водоразделах, а местами и на склонах молодые глинистые отложения всецело находятся в зоне аэрации; в долинах рек указанная зона охватывает только верхнюю часть разреза этих отложений.

Анализ водно-физических свойств глинистых пород свидетельствует о том, что содержание глинистых фракций (<0,001 мм) в них для различных генетических и стратиграфических подразделений следующее (%): элювиально-делювиальных четвертичных — 10–29 (в среднем 16–18), перигляциальных четвертичных — 12–32 (21–23), общесыртовых — 11–35 (25–27), акчагыльско-апшеронских — 20–38 (30–33). Остальная часть представлена пылеватыми и песчаными фракциями. Средняя пористость глинистых пород составляет 41,7–45,8%, плотность — 2,68–2,72 г/см^3, объемная масса — 1,63–1,9 г/см^3.

Термический и рентгено-дифракционный анализы глинистых осадков показали, что в них преобладают минералы групп монтмориллонита и гидрослюд (70–95%), то есть для них характерен смешаннослойный гидрослюдисто-монтмориллонитовый состав (табл.). Соотношение этих минералов обычно 1:3. В четвертичных отложениях содержание их достигает 70–80%, а в неогеновых — 90–95%. Другие минералы имеют подчиненное значение. Так, в четвертичных осадках присутствуют каолинит — до 20–25% (обычно 4–8%) и хлорит — до 18–20% (обычно 8–10%), в неогеновых — содержание каолинита <3–5%, хлорита <2–3%.

Обсуждение результатов исследований

Фильтрационные свойства глинистых покровных (неогеново-четвертичных) образований варьируют в широких пределах: для суглинков — от 0,07 до 1,5–2,0 м/сутки (в среднем 0,46–0,51), глин — от 0,01 до 1,2 м/сутки (в среднем 0,35–0,38). Сопоставление водопроницаемости пород с их пористостью и содержанием глинистых фракций свидетельствует об отсутствии четкой связи между этими параметрами [Абдрахманов, 1975].

Не наблюдается также зависимость проницаемости пород от их возраста и генезиса. Глинистые отложения плейстоцена и общесыртовской свиты из различных районов региона, подвергшиеся фильтрационным испытаниям, нередко имеют одинаковую водопроницаемость, в то время как внутри каждого из этих подразделений ее величина испытывает сильную изменчивость (рис. 1).

На отсутствие четкой зависимости коэффициента фильтрации в покровных отложениях от содержания в них глинистых частиц ранее указывала и Н.В. Роговская [1955]. Она отмечала, что при одном и том же механическом составе породы имеют различную величину коэффициента фильтрации, и наоборот, один и тот же коэффициент

Таблица

Минеральный состав глинистых пород Предуралья

Table

Mineral composition of clayey rocks of the Pre-Urals

Место отбора пробы, возраст, глубина отбора	Глинистые минералы, %			
	смектит	гидрослюда	хлорит	каолинит
3 км С д. Чалмылы, *ed-pql*Q, 1,5 м	60–65	25	8–9	3–4
5 км Ю с. Большеустьикинское, *d*Q, 1,5 м	60	20–23	8–10	8–10
0,7 км З д. Бартым, *d*Q, 1,5 м	50	20–25	нет	20–25
0,5 км В д. М. Накаряково, *d*Q, 1,5 м	75	20	нет	5–7
5 км СВ д. Силантьево, *d*Q, 1,5 м	75	20	нет	6–8
3 км СВ с. Жуково, *ed-pql*Q, 1,5 м	55–60	25–30	8–9	4–5
7 км СВ с. Новоболтачево, *d*Q, 1,5 м	80	10–12	8–10	нет
3 км Ю. с. Базлык, *d*Q, 1,5 м	60	15	18–20	6–8
5 км ЮЗ д. Наумовка, N_2^3, Q_1, 1,5 м	60	25	7–8	6
3 км ЮЗ с. Новоселка, *d*Q, 1,5 м	75	10–12	8–10	4–6
1 км В д. Старотукмак, *d*Q, 1,5 м	60	25	8–10	4–5
2 км В д. Янаул, *pql*Q, 1,5 м	50	30	12–14	4–6
5 км Ю. с. Субхангулово, *ed-pql*Q, 1,5 м	60	25	10–12	4–6
3 км СВ с. Миякитамак, *ed-pql*Q, 1,5 м	60	20	16–58	6–8
0,5 км СВ д. Тюляково, *pql*Q, 1,5 м	70	10	12–14	6–8
п. Ясный (5 км С г. Уфы), N_2^3–Q_1, 10 м	70	15–17	2–3	5–7
Там же, N_2ak_2, 20 м	80–83	15	нет	3–5
Там же N_2ak_2, 39 м	80–85	10–15	нет	3–5

фильтрации отмечается у пород с различным механическим составом. Это свидетельствует о том, что при одном и том же исходном материале породы водопроницаемость ее может широко варьировать в зависимости от ряда других факторов, роль которых должна быть определена в каждом конкретном случае. Кроме того, причины, обусловливающие изменение водопроницаемости пород одного и того же генезиса и состава, с течением времени под влиянием физико-географических и техногенных факторов сильно меняются. Роль этих факторов часто более существенна, чем изменение механического состава породы.

Определенное значение в формировании водопроницаемости глинистых пород играют структурные вторичные изменения. В процессе натурных наблюдений, при проходке шурфов хорошо видны следы движения воды на стенках трещин усыхания и морозного выветривания и пр. до глубины 3–4 м и более в виде гумусового налета. Глины и суглинки пронизаны большим количеством ходов землероев диаметром до 5–10 см, прослеживающихся до 3–4 м от поверхности, нередко до уровня грунтовых вод. Ходы эти заполнены хорошо водопроницаемыми грунтами и являются путями интенсивной миграции вод через зону аэрации.

Полученные данные позволяют констатировать, что водопроницаемость глинистых пород определяется комплексом факторов, среди которых ведущая роль нередко принадлежит факторам, относящимся к категории вторичных (эпигенетических), формирующих активную пористость и скважность: трещиноватость, наличие растительных остатков, ходы землероев и пр. Учесть все эти факторы фильтрационных свойств тех или иных пород на различных участках не всегда представляется возможным.

Изучение проницаемости суглинков и глин, как элювиально-делювиальных (на водоразделах), так и перигляциальных (в долинах), в условиях, где их мощность достигает 10–15 м, показало уменьшение коэффициентов фильтрации с глубиной. Наибольшие их значения свойственны породам до глубины 3–4, реже 4–7 м. Ниже коэффициенты фильтрации снижаются в 2–5 раз, иногда на порядок и более.

При исследовании фильтрационных свойств глинистых покровных отложений необходимо учитывать, что грунты всех литологических разностей в естественном залегании имеют бóльшую водопроницаемость, чем в монолитах, исследуемых в лаборатории. Величины коэффициентов фильтрации суглинков и глин, определенные лабораторными методами, на 1–2 порядка ниже тех значений, которые получены в результате полевых исследований. Это обстоятельство связано с недоучетом литологической (фильтрационной) неоднородности, свойственной породам в естественном залегании. Поэтому пользоваться лабораторными данными при решении практических задач следует с большой осторожностью. Несмотря на известное несовершенство полевых опытов, они дают более правильное представление о проницаемости глинистых пород, чем лабораторные.

Глинистые отложения плиоценового возраста по сравнению с четвертичными отложениями характеризуются несколько меньшими значениями коэффициента фильтрации. Проницаемость плиоценовых глин, оцененная полевыми методами, в зоне насыщения составляет 0,003–0,04 м/сутки,

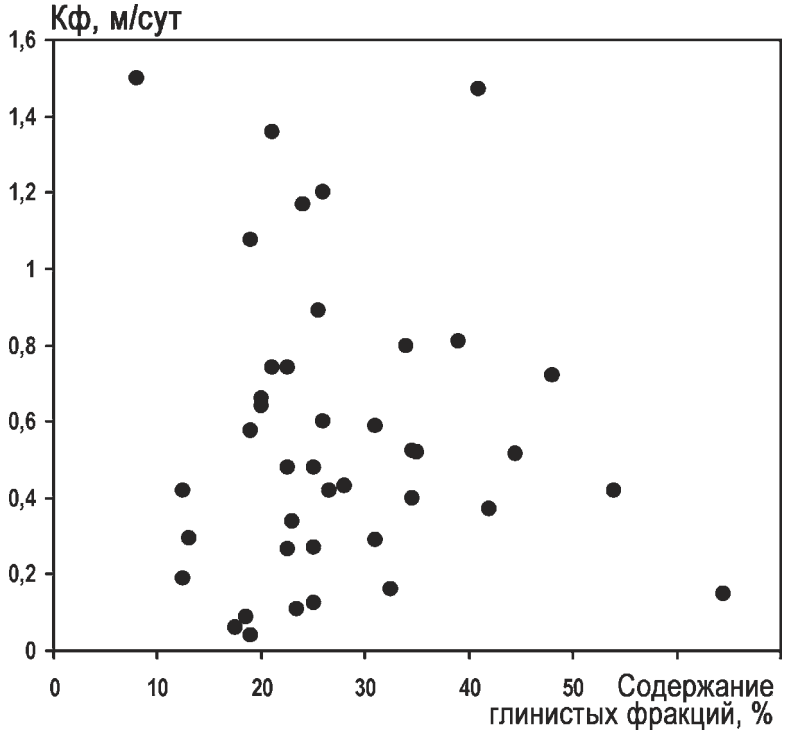


Рис. 1. Связь между проницаемостью глинистых пород и содержанием в них глинистых фракций

Fig. 1. The relationship between the permeability of clay rocks and the content of clay fractions

а в зоне аэрации увеличивается до 0,1–0,6 м/сутки. Для них характерны значительная уплотненность и наличие более прочных связей между глинистыми частицами, а также преобладание последних в породе (до 80–90%).

Влияние техногенеза на фильтрационные свойства глинистых пород

Изменение структуры и геохимических условий глинистых пород, включая их фильтрационные свойства, изучено при утилизации стоков с минерализацией (*M*) 170 г/дм^3 Стерлитамакского содово-цементного комбината (СтСЦК), ныне АО «Башкирская содовая компания» (АО БСК), близких по влиянию к нефтепромысловым стокам (*M* 250–290 г/дм^3).

Фильтрационные свойства глинистых отложений, в отличие от пресных вод, при фильтрации *Cl-Ca* рассолов увеличиваются в 1,5–2 раза, а *Cl-Na* — до 5–10 раз. Особенно резко увеличивается проницаемость монтмориллонитовых глин (в 10 раз и более), и в меньшей степени — каолинитовых. Кроме того, и *T* фильтрующейся воды влияет на проницаемость глин. Рост *T* от 20 до 30°С увеличивает проницаемость монтмориллонитовых глин в 10, иногда в 100 раз [Гольдберг, Скворцов, 1986]. В целом в зависимости от состава глинистых минералов проницаемость глин в интервале *T* 20–90°С увеличивается на порядок и больше.

На Южном Урале и в Предуралье глинистые грунты довольно широко используются для устройства противофильтрационных экранов в прудах-накопителях, отстойниках для жидких отходов химической, нефтяной, горной промышленности и сельского хозяйства. Отходы и стоки эти представляют собой хлоридные рассолы с *M* от 5–10 до 150–250 г/дм^3. При проектировании этих и им подобных сооружений следует иметь в виду, что степень проницаемости глинистых пород при фильтрации минерализованных растворов значительно выше (до 10 раз и более) по сравнению с пресными водами [Кульчицкий, Гольдберг, 1969; Абдрахманов, Попов, 1985]. Основной прирост значений проницаемости наблюдается в области концентраций до 10–30 г/дм^3. Кроме того, проницаемость глинистых пород меняется с течением времени. Это связано с особенностью глинистых минералов разбухать и закупоривать поровое пространство при взаимодействии с пресной водой. При фильтрации же через глинистые породы минерализованных вод это явление развито в значительно меньшей степени. Более того, в результате процессов кристаллизации солей из минерализованных вод нередко происходит рост активной пористости пород, а следовательно, улучшение их фильтрационных свойств.

Структурные и фильтрационные изменения глинистых грунтов довольно детально изучены в шламонакопителях («Белых морях») АО «БСК», расположенного на первой надпойменной террасе р. Белой. В качестве противофильтрационного здесь принят глинистый экран. Химический состав фильтрующихся стоков (дистиллерной жидкости) АО БСК хлоридный натриево-кальциевый, с *M* 170 г/дм^3. Как показали исследования [Мосьяков, Мерков, 1976], глинистый экран нарушенной структуры и подстилающие его грунты в шламонакопителях находятся во взаимодействии с фильтрующимися растворами.

Глинистый экран создавался из местных четвертичных тяжелых суглинков мощностью 0,4 м, плотностью объема веса скелета 1,55–1,60 г/см^3 при влажности 25–30% с коэффициентом пористости <0,8. Ниже экрана залегают четвертичные перигляциальные суглинки и глины мощностью 2–3 м. В процессе эксплуатации шламонакопителя шло обогащение солями глинистого экрана и подстилающих суглинков.

При многолетних сроках эксплуатации в глинистых экранах происходят структурные изменения за счет роста кристаллов солей на поверхности глинистых частиц и в поровом пространстве. А это, в свою очередь, приводит к изменению фильтрационных свойств глинистого экрана. Установлено, что количественное содержание водорастворимых солей в глинистом экране и подстилающих четвертичных грунтах имеет тесную корреляционную связь с коэффициентом пористости. Изменение пористости глинистого экрана и подстилающих суглинков связано с процессами кристаллизации солей (рис. 2).

Рост кристаллов солей, находящихся в ограниченном поровом пространстве, создает значительное кристаллизационное давление, которое раздвигает минеральную скелетную часть грунта, увеличивая его пористость. В поровом пространстве образуются кристаллы $CaCl_2$ и $NaCl$. С увеличением пористости сильно возрастает проницаемость глинистых пород (рис. 3). Естественно, при этом происходит не только засоление пород зоны аэрации непосредственно под дном шламонакопителя, но и загрязнение хлоридными солями вод аллювиального горизонта р. Белой (М 30–50 г/дм^3).

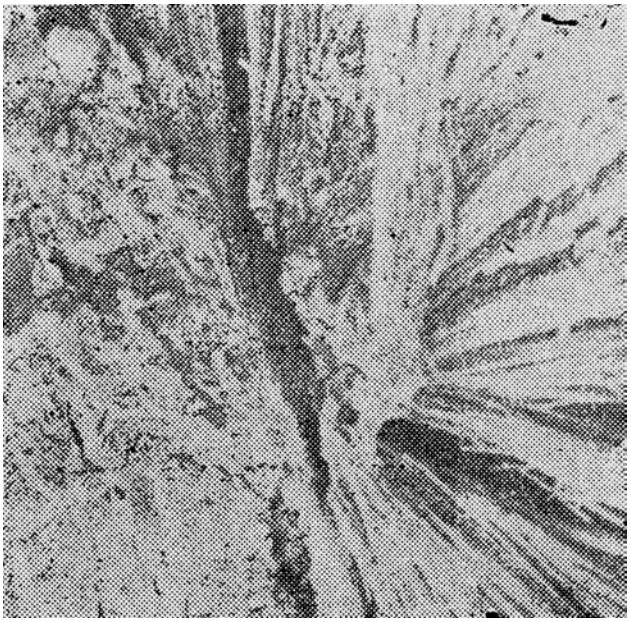


Рис. 2. Структура глинистого экрана после 17-летнего срока эксплуатации пруда-накопителя стоков ОАО «Сода» (электронно-микроскопический снимок, ×1000)

Fig. 2. The structure of the clay screen after the 17-year service life of the "Soda" OJSC pond-storage (electron microscope snapshot, 1000's increase)

С начала эксплуатации прудов-накопителей коэффициент фильтрации суглинков под глинистым экраном повысился в среднем в 10 раз. Особенно сильно изменилась фильтрационная способность нарушенных грунтов глинистого экрана: за 2-годичный срок эксплуатации коэффициент пористости увеличился в 1,2 раза, коэффициент фильтрации — в 10 раз, за 4-годичный — соответственно в 1,4 и в 130 раз, за 7-летний — в 1,7 раза и в 180 раз, за 17-летний — в 2,1 раза и в 5300 раз.

Расчеты методом моделирования показали, что влияние подземного стока в результате фильтрации сточных вод из «Белых морей» АО БСК на качество речных вод (0,2 г/дм^3) вполне соизмеримо с влиянием поверхностных источников загрязнения (0,13 г/дм^3). Это подтверждает необходимость прогнозирования количества солей, поступающих в р. Белую с грунтовыми водами при разработке мероприятий по защите реки от загрязнения [Попов, Абдрахманов, 2013].

Заключение

Полученные данные позволяют констатировать, что водопроницаемость глинистых пород по своей природе является величиной случайной, зависящей от суммы факторов, формирующих активную пористость и скважность. Учесть все эти факторы при прогнозировании фильтрационных свойств тех или иных пород на различных

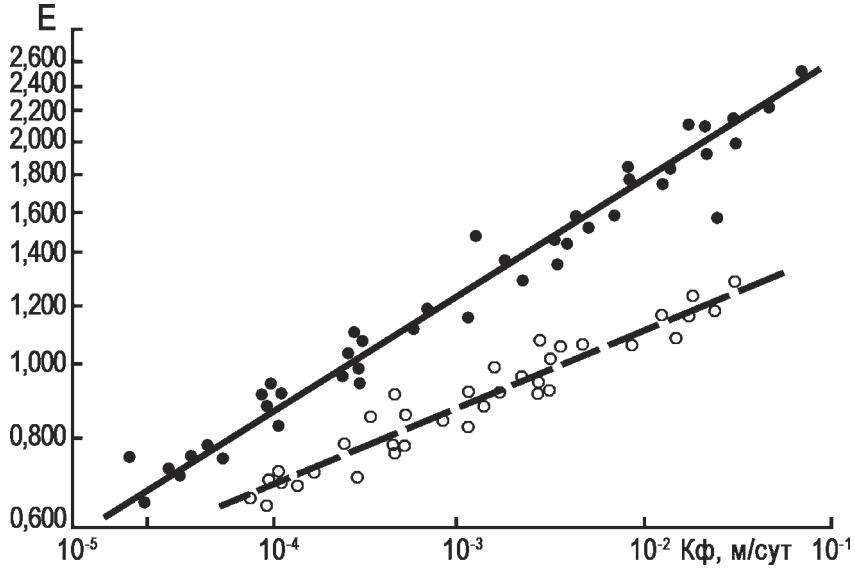


Рис. 3. Зависимость между коэффициентами пористости (E) и фильтрации ($K_ф$) глинистого экрана (черные кружки) и четвертичных грунтов (белые кружки)

Fig. 3. Dependence between the coefficients of porosity (E) and filtration ($K_ф$) of a clay screen (black circles) and Quaternary soils (white circles)

участках не всегда представляется возможным. Более того, степень проницаемости глинистых пород при фильтрации минерализованных растворов значительно выше (в десятки и сотни раз) по сравнению с пресными водами. Результаты исследований по водопроницаемости глинистых пород ставят под сомнение возможность широкого использования их в качестве противофильтрационных завес при строительстве очистных и др. сооружений.

Список литературы:

Абдрахманов Р.Ф. О фильтрационных свойствах глинистых четвертичных отложений Западной Башкирии // Геология и полезные ископаемые Южного Урала. – Уфа: БФАН СССР, 1975. – С. 80–81.

Абдрахманов Р.Ф. Техногенез в подземной гидросфере Предуралья / УНЦ РАН. – Уфа, 1993. – 208 с.

Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. – Уфа: Информреклама, 2005. – 344 с.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Гидрогеология Южного Предуралья. – Уфа: БФАН СССР, 1985. – 124 с.

Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Формирование подземных вод Башкирского Предуралья в условиях техногенного влияния. – Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1990. – 120 с.

Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. – М.: Недра, 1986. – 160 с.

Кульчицкий Л.И., Гольдберг В.М. Влияние минерализации воды на фильтрационные свойства песчано-глинистых пород // Гидрогеологические вопросы подземного захоронения промышленных стоков. – М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1969. – С. 6–22.

Мосьяков Е.Ф., Мерков Ю.Б. Структурные и фильтрационные изменения глинистых грунтов в шламонакопителях Стерлитамакского содово-цементного комбината // Стратиграфия и корреляция плиоцена и плейстоцена Предуралья. – Уфа: БФАН СССР, 1976. – С. 79–84.

Мятиев А.Н. Теория напорного движения подземных вод к колодцам // Изв. Туркм. фил. АН СССР. – 1950. – № 1. – С. 40–48.

Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. Ионообменная концепция в генетической гидрогеохимии. – Уфа: Гилем, 2013. – 356 с.

Роговская Н.В. Опыт фильтрационных исследований на массивах орошения. – Советская геология. – 1955. – № 44. – С. 34–46.

References:

Abdrakhmanov R.F. O fil'tracionnyh svojstvah glinistyh chetvertichnyh otlozhenij Zapadnoj Bashkirii [On filtration properties of the clayey Quaternary sediments of Western Bashkiria] // Geologija i poleznye iskopaemye Juzhnogo Urala [Geology and minerals of the Southern Urals]. Ufa BFAN SSSR Publ., 1975. P. 80–81 (In Russian).

Abdrakhmanov R.F. Tehnogenez v podzemnoj gidrosfere Predural'ja [Technogenesis in the underground hydrosphere of the Pre-Urals] / UNC RAN. Ufa, 1993. 208 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F. Gidrogeoekologija Bashkortostana [Hydrogeoecology of Bashkortostan]. Ufa, Informreklama Publ., 2005. 344 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Gidrogeologiya Yuzhnogo Predural'ja [Hydrogeology of the Southern Pre-Urals]. Ufa, BFAN SSSR Publ., 1985. 124 p. (In Russian).

Abdrakhmanov R.F., Popov V.G. Formirovanie podzemnyh vod Bashkirskogo Predural'ja v uslovijah tehnogennogo vlijanija [Formation of underground waters of the Bashkirian Pre-Urals in conditions of technogenic influence]. Ufa, BNC UrO AN SSSR Publ., 1990. 120 p. (In Russian).

Gol'dberg V.M., Skvorcov N.P. Pronicaemost' i fil'tracija v glinah [Permeability and filtration in clays]. Moscow, Nedra Publ., 1986. 160 p. (In Russian).

Kul'chickij L.I., Gol'dberg V.M. Vliyanie mineralizacii vody na fil'tracionnye svojstva peschano-glinistyh porod [The influence of mineralization of water on the filtration properties of sandy-argillaceous rocks] // Gidrogeologicheskie voprosy podzemnogo zahoronenija promyshlennyh stokov [Hydrogeological issues of underground disposal of industrial wastewater]. Moscow, VSEGINGEO Publ., 1969. P. 6–22 (In Russian).

Mos'jakov E.F., Merkov Ju.B. Strukturnye i fil'tracionnye izmenenija glinistyh gruntov v shlamonakopitelyakh Sterlitamakskogo sodovo-cementnogo kombinata [Structural and filtration changes in clay soils in the sludge collectors of the Sterlitamak Soda-Cement Industrial complex] // Stratigrafija i korreljacija pliocena i plejstocena Predural'ja [Stratigraphy and correlation of the Pliocene and Pleistocene of the Pre-Urals]. Ufa, BFAN SSSR Publ., 1976. P. 79–84 (In Russian).

Mjatiev A.N. Teoriya napornogo dvizheniya podzemnyh vod k kolodcam [Theory of pressure movement of groundwater to wells]. Turkm. fil. AN SSSR Publ. 1950. No 1. P. 40–48 (In Russian).

Popov V.G., Abdrakhmanov R.F. Ionoobmennaya koncepciya v geneticheskoy gidrogeohimii [Ion exchange concept in genetic hydrogeochemistry]. Ufa, Gilem Publ., 2013. 356 p. (In Russian).

Rogovskaja N.V. Opyt fil'tracionnyh issledovanij na massivah oroshenija [Experience in filtration studies on irrigation fields]. – Sovetskaja geologiya [Soviet geology]. Moscow, Gosgeoltekhizdat Publ., 1955. Iss. 44. P. 34–46 (In Russian).

Сведения об авторе:

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.

About the author:

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

Виктор Николаевич Пучков. К 80-летию со дня рождения

17 августа 2018 г. Виктору Николаевичу Пучкову исполняется 80 лет. Это — знаменательная веха на долгом и необычайно плодотворном творческом пути талантливого геолога и активного, доброжелательного человека.

Успешная трудовая деятельность Виктора Николаевича имела надежное основание: в 1955 г. в Туле он закончил школу с Золотой медалью, а в 1960 г. с отличием — геологический факультет МГУ. Начальный этап творческого пути будущего доктора геолого-минералогических наук, профессора, члена-корреспондента РАН В.Н. Пучкова проходил на Тимане, Полярном, Приполярном и Северном Урале с 1960 по 1974 гг., вначале в качестве младшего научного сотрудника Института геологии Коми филиала АН СССР (г. Сыктывкар). Поразительно, но уже тогда молодой специалист сочетал практическую работу — тяжелейшие геологические маршруты в непростых условиях севера — со стремлением к осмыслению глубоких теоретических проблем. Знание английского, знакомство с испанским, французским, немецким языками и целеустремленность дали возможность В.Н. Пучкову проанализировать большой объем зарубежных публикаций по проблемам Новой глобальной тектоники, тогда почти неизвестным в нашей стране. В результате Виктором Николаевичем были опубликованы в центральных изданиях две новаторские статьи: «Происхождение рифтовых морей» (Изв. АН СССР, 1964) и «О проблеме перемещения континентов» (Геотектоника, 1965). Эта творческая черта — умение сочетать конкретные геологические факты, полученные в результате личных детальных исследований, с обширными геодинамическими обобщениями, сохранилось у В.Н. Пучкова и в дальнейшем.

Пятнадцатилетний период работы в Сыктывкаре, на Тимане и севере Урала был полон геологической романтикой: дальними маршрутами по тундре с оленьими упряжками и по болотам пешком со слегами, что хорошо отображено в цикле ранних стихов Виктора Николаевича. Но важно, что эта «романтика» приносила новое понимание геологического строения территории, ее стратиграфии и тектоники. Важными результатами геологических исследований стало выделение куполовидной структуры на востоке Приполярного Урала и установление доордовикского возраста гранитного массива, считавшегося более молодым. Изучение батиальных отложений западной части Приполярного Урала легло в основу кандидатской диссертации, которую В.Н. Пучков защи-

На теплоходе «Мудьюг». Июнь 1961 г.

тил в 1970 г. Позднее по материалам диссертации была опубликована первая монография Виктора Николаевича «Структурные связи Приполярного Урала и Русской платформы» (1975). В итоге «сыктывкарского» периода работы В.Н. Пучков сформировался зрелым специалистом в области тектоники и стратиграфии Урала и в сфере теоретических основ геологии.

Следующий период жизни и деятельности В.Н. Пучкова (1974–1991 гг.) был связан с Екатеринбургом, куда он был приглашен в Институт геологии и геохимии УрО РАН на должность старшего научного сотрудника, но вскоре стал исполняющим обязанности (1975 г.), а затем и заведующим Лабораторией геотектоники. Здесь объектом исследований стал уже весь Урал. Важнейшим итогом работ первых лет в Екатеринбурге было составление Тектонической карты Урала в м-бе 1:1 000 000 и объяснительной записки к ней (1977 г.), выполненное коллективом исследователей, при активном участии В.Н. Пучкова. Карта, составленная на принципах неомобилизма, актуализма и плейттектоники, сыграла важную роль в обосновании новых представлений о строении Урала.

Совместная экспедиция сотрудников ИГ УНЦ РАН с американскими геологами. Река Мал. Инзер, 2001 г. В.Н.Пучков — в первом ряду второй слева.

Дальнейшие исследования 1970–80 гг. при активном участии В.Н. Пучкова включали разнообразные проблемы геологии Урала — вопросы тектоники, стратиграфии, глубинного строения с учетом геофизических данных, и металлогении. Весьма продуктивным было увлечение Виктора Николаевича конодонтами. В различных зонах Урала по конодонтовой фауне осадочно-вулканогенные толщи получили новые датировки. Недаром один из видов этой фауны получил имя автора — *Tanaisognathus puchkovi*.

Екатеринбургский период был весьма продуктивен в отношении публикаций: вопросы стратиграфии освещены в серии статей в соавторстве с К.С. Ивановым, анализ главных этапов развития геологической истории Урала дан в коллективной монографии «Формирование земной коры Урала» (1986 г.), проблемы глубинного строения Урала и металлогенической зональности рассмотрены в другой коллективной монографии с участием В.Н. Пучкова — «Глубинное строение, тектоника, металлогения Урала» (1986). Продолжая изучение геологии западного склона Урала, В.Н. Пучков дал детальную характеристику Лемвинской зоны и сопоставил ее с аналогами батиальных комплексов других регионов. Это стало темой его докторской диссертации, которую он защитил в 1979 г., и книги «Батиальные комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей (1979 г.). В конце екатеринбургского периода круг интересов и деятельности Виктора Николаевича значительно расширился: он принимает участие в международных проектах, читает лекции в Свердловском горном институте, продолжает активную работу в полевых условиях.

В 1991 г. В.Н. Пучков был приглашен на должность директора Института геологии Уфимского научного центра РАН и начался третий период его научной деятельности, который продолжается и в настоящее время. В Уфе административная работа не помешала осуществлению творческих планов. Основным направлением исследований становится палеогеодинамика, совмещающая традиционные для В.Н. Пучкова тектонику и стратиграфию с фациальным и формационным анализом и, отчасти, с петрологией и изотопной геологией. Результатом обобщения детальных личных наблюдений и анализа всего имеющегося материала было издание капитальной монографии В.Н. Пучкова «Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала» (2000 г.). В книге продемонстрирована история формирования уральского орогена, от возникновения Уральского палеоокеана до коллизионной и постколлизионной стадий его развития.

В уфимский период работы расширяются и укрепляются связи В.Н. Пучкова и, соответст-

Рабочий момент маршрута в Восточно-Уральской зоне в районе п.Катенино по р.Карталы-Аят (Челябинская обл.). Август 2003 г.

венно, Института геологии с зарубежными геологическими организациями и крупными учеными Великобритании, Швеции, Франции, Германии, а сам Виктор Николаевич становится одним из руководителей и неизменным гидом международных экскурсий по различным зонам Урала. В эти годы были осуществлены такие крупные международные проекты, как «Европроба» (1991–2000 гг.) и «MinUrals» (2001–2003 гг.).

Международная активность В.Н. Пучкова впечатляет: доклады на конференциях в Лондоне, Орлеане, в Швейцарии, Пекине, на Тайване, на международных конгрессах в Рио-де-Жанейро и Флоренции — далеко не полный перечень мероприятий, в которых принимал участие В.Н. Пучков. Не забывал он и «родные пенаты», много лет заведуя Кафедрой геологии и геоморфологии Башкирского Государственного университета и читая там курсы лекций.

Продуктивная научная деятельность и успешное руководство академическим Институтом были оценены по достоинству: в 2000 г. В.Н. Пучков был избран членом-корреспондентом РАН.

В последующие годы (до 2017 г. включительно) В.Н. Пучков продолжал активную исследовательскую работу, совмещая ее с руководством Института геологии УФИЦ РАН. В 2010 г. им опубликована вторая капитальная монография «Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении)». Из названия книги видно, насколько расширились и география, и тематика исследований, включающих теперь и результаты изучения полезных ископаемых. Обе монографии В.Н. Пучкова 2000 и 2010 гг. стали «настольными книгами» для студентов, аспирантов и научных работников геологических специальностей.

В настоящее время, с начала 2018 г., перестав быть директором, В.Н. Пучков — научный руководитель Института геологии УФИЦ РАН. Его научный багаж поражает и качеством и количеством. Это более 850 научных трудов, в том числе более 50 монографий, карт, препринтов и других отдельных публикаций. Он самый цитируемый геолог Урала: по РИНЦ — 7638 ссылок, индекс Хирша — 34.

Творчество Виктора Николаевича не ограничивается сферой геологии. Как и в юности, он пишет стихи и прозаические произведения, им издана серия поэтических сборников и книг воспоминаний. В.Н. Пучков является членом Российского Союза писателей.

Многогранная и плодотворная деятельность В.Н. Пучкова была неоднократно отмечена наградами и званиями. Он награжден: Премией Коми Комсомола за научные работы (1968), медалью Ветеран Труда (1989), Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени (2012), Премией им. А.Д. Архангельского РАН за региональные исследования (2011); ему присвоены звания: Почетное звание Адъюнкт-профессора Университета Южной Каролины (1990–1993), Заслуженного деятеля науки Республики Башкортостан (1999).

Сотрудники, коллеги и друзья Виктора Николаевича желают ему доброго здоровья и дальнейших творческих успехов!

Коллектив Института геологии УФИЦ РАН

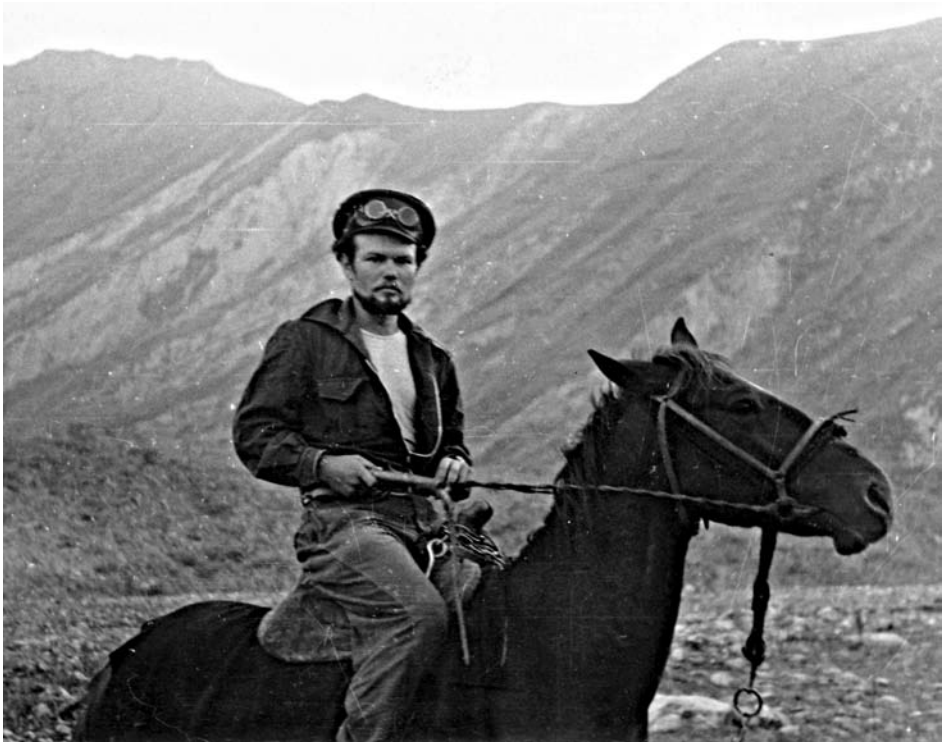
Мы сами себе выбираем маршруты,
находим надежных друзей!

Делир Нурзадаевич Салихов
К 80-летию со дня рождения

17 июня 2018 года исполняется 80 лет Делиру Нурзадаевичу Салихову, известному на Урале ученому, доктору геолого-минералогических наук, главному научному сотруднику Лаборатории магматизма и метаморфизма.

Родился Д.Н. Салихов в семье служащих в г. Душанбе, семья — отец, который был для него главным авторитетом, мама, брат, две сестренки. Он старший сын в семье.

В 1955 г. окончил среднюю школу, а в 1960 г. — геологический факультет Таджикского Государственного университета. Первые экспедиции были на Памире. Еще в студенческие годы интерес будущего геолога привлекали проблемы магматизма и рудных полезных ископаемых. Сразу же после окончания университета он начал работать в Институте геологии Академии наук Таджикской ССР. В 1961 г. он приехал в Уфу в Горно-геологический Институт Башкирского филиала АН СССР, в 1969 г. переименованный в Институт геологии БФАН СССР. В Уфе Делир Нурзадаевич начал работать в Лаборатории рудных месторождений старшим лаборантом. Рудная тематика начала интенсивно развиваться в Институте. К тому времени возглавлять эти исследования был приглашен профессор П.Ф. Сопко, который и организовал лабораторию из молодых специалистов. В ней работали И.Б. Серавкин, П.В. Аржавитин, М.И. Исмагилов, А.С. Бобохов и др. Д.Н. Салихов активно включился в работу молодого коллектива. Молодые ребята увлеченно под руководством Павла Филипповича Сопко, строгого, требовательного, опытного ученого, развернули исследования на Южном Урале по многим вопросам магматизма и вулканизма, генезису медноколчеданных месторождений и других металлов (золота, никеля и др.). Делир Нурзадаевич проявил завидную трудоспособность, по 12 часов работал с микроскопом, сам изготовлял препараты для исследований. Кропотливая научная работа успешно завершилась защитой кандидат-



Д.Н. Салихов в одной из первых своих экспедиций на Памире

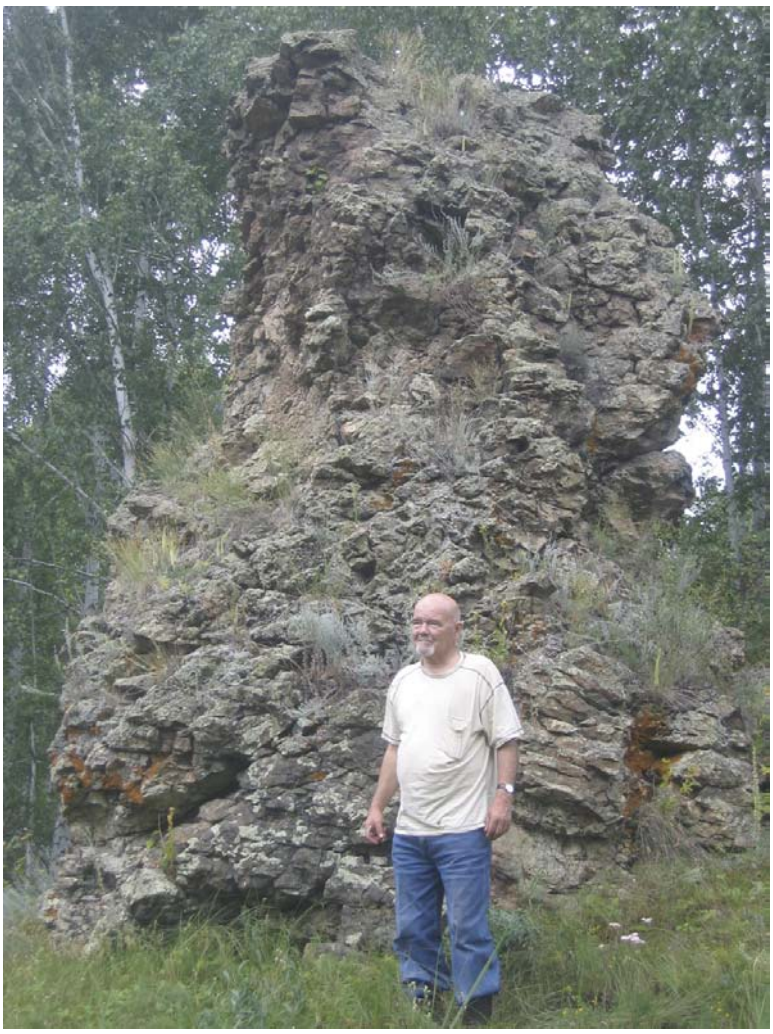
ской диссертации в 1971 г. на тему: «Габброидные и гранитные интрузивные комплексы Учалинского рудного района на Южном Урале».

В 1975 г. был избран на должность старшего научного сотрудника. В 1982 г. он организовал Лабораторию физико-химических методов исследований, которая в 1992 г. была расширена и преобразована в лабораторию магматизма. С 1992 г. по 2007 г. Д.Н. Салихов совмещал обязанности заместителя директора Института по науке и заведующего Лабораторией. За 2 месяца до своего 70-летия принял решение отойти от административной работы и полностью сосредоточиться на научной деятельности.

Главное научное направление исследований Д.Н. Салихова — проблемы интрузивного магматизма и связанного с ним вулканизма и оруденения, он много внимания уделяет вопросам геодинамики, истории вулканической деятельности, магматическим формациям — индикаторам обстановок перехода от островодужного к орогенному, от орогенного к квазирифтогенному развитию Магнитогорской мегазоны. Им принципиально по-новому рассмотрена коллизионная история Южного Урала, а также связь магматизма и эндогенной металлогении региона. Все эти проблемы нашли свое решение в докторской диссертации Делира Нурзадаевича, которую он защитил в 1997 г. на тему «Среднепозднепалеозойская коллизионная история Магнитогорского мегасинклинория». Потом мы над ним подшучивали: ничего себе — защита 13 числа и в пятницу.

Д.Н. Салихов не ограничивает свои исследования только геологией, он активно участвовал в разработке комплексной государственной программы Республики Башкортостан «Экологические проблемы окружающей среды и улучшение здоровья населения», целью которой было выяснение особенностей геоэкосистемы горнорудных районов востока Башкортостана. Он проводил исследования по оценке природного геолого-геохимического фона и использования природных минеральных сорбентов для очистки воды от тяжелых металлов и других токсичных компонентов территории Башкирии. Д.Н. Салихов занимался и общественной работой — в 1982–86 гг. он возглавлял профсоюзный комитет Института.

Д.Н. Салихов обобщил материалы по магматизму, вулканической деятельности и связанными с ними полезными ископаемыми коллизионной стадии развития Южного Урала. Им дана оценка вещественного состава интрузивных и дайковых



В районе хромитового месторождения Черный Столб

образований и проведена их систематизация в пределах Магнитогорского мегасинклинория; выполнены работы по геодинамическим реконструкциям позднедевонской и раннекаменноугольной вулканической деятельности в регионе с составлением палеовулканических карт. Впервые для Уральского региона детально описаны и систематизированы габброидные интрузивные массивы зоны Главного Уральского разлома, включая слабоизученные и неизвестные ранее.

Д.Н. Салихов автор более 200 публикаций, в том числе 17 монографий.

Сотрудниками лаборатории под руководством доктора геолого-минералогических наук Д.Н. Салихова осуществляется уникальный проект по публикации серии монографий «Полезные ископаемые Республики Башкортостан». С 2000 по 2016 г. изданы тома, посвященные: хромитовым рудам (2000), металлам платиновой группы (2001), марганцевым рудам (2002), коренному золоту (2003), никелевым рудам (2004), россыпному золоту (2006), железным рудам (2008), цветным металлам (2010), декоративно-поделочным камням (2012), «Полезные ископаемые Республики Башкортостан (металлы)» (2016). Эти книги являются хорошим справочником по месторождениям указанных металлов и в настоящее время широко используются в практических целях.

Для Делира Нурзадаевича Салихова характерна большая трудоспособность, целеустремленность и обязательность в работе, неизменное желание завершить начатое дело. Он не может работать не торопясь, это не свойственно его характеру. Делир Нурзадаевич активный и неравнодушный исследователь. Он одновременно жесткий и добрый человек, с хорошим чувством юмора. Очень энергич-

ный, работает и по субботам, и по воскресеньям, и по праздникам, и в отпуске. И еще — он когда-то был кудрявый, с пышной шевелюрой, сейчас этого нет и в помине.

Сегодня у Делира Нурзадаевича хороший и надежный тыл — жена Раиса Нуриевна, две дочери Гульнара и Лейла, самые любимые и умные внуки Алиса, Исатик, Яромир.

Дорогой Делир Нурзадаевич! Желаем Вам новых плодотворных идей, доброго здоровья и творческих сил для воплощения этих идей в жизнь! Пусть Ваши работы способствуют сохранению и развитию отечественной геологической науки! А Вам всегда сопутствует любовь близких, удача, поддержка друзей и понимание коллег!

С огромным уважением —
коллектив Института геологии,
Ваши друзья и коллеги