



Vestnik of Geosciences
Вестник геонаук

Май
May
2025,
№ 5 (365)

Журнал издается под научно-методическим руководством Отделения наук о Земле РАН
The journal is published under the research and methodological guidance of the RAS Department of Earth Sciences

Главный редактор *А. М. Асхабов*

Зам. главного редактора *И. Н. Бурцев*

Зам. главного редактора *О. Б. Котова*

Ответственный секретарь *И. В. Козырева*

Chief Editor *A. M. Askhabov*

Deputy Chief Editor *I. N. Burtsev*

Deputy Chief Editor *O. B. Kotova*

Executive Secretary *I. V. Kozyreva*

Редакционный совет

- Л. Н. Андреева*, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Зедгенизов, Екатеринбург, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
Н. А. Малышев, Москва, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. И. Николаев, Апатиты, Россия
Б. М. Осовецкий, Пермь, Россия
Ю. Ф. Патраков, Кемерово, Россия
И. В. Пеков, Москва, Россия
Д. В. Пономарев, Сыктывкар, Россия
Д. Ю. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сун, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Екатеринбург, Россия

Технический редактор *Г. Н. Каблис*

Заведующий редакцией *Т. А. Некучаева*

Editorial Board

- L. N. Andreicheva*, Syktyvkar, Russia
A. I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
T. M. Beznosova, Syktyvkar, Russia
M. A. Bogdasarov, Brest, Belarus
M. A. T. M. Broeckmans, Trondheim, Norway
D. A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yu. L. Voytekhovskiy, Apatity, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
D. A. Zedgenizov, Yekaterinburg, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
N. A. Malyshev, Moscow, Russia
M. Martins, Ouro Preto, Brazil
T. P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
P. Männik, Tallinn, Estonia
A. I. Nikolaev, Apatity, Russia
B. V. Osovetsky, Perm, Russia
Yu. F. Patrakov, Kemerovo, Russia
I. V. Pekov, Moscow, Russia
D. V. Ponomarev, Syktyvkar, Russia
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Yekaterinburg, Russia

Technical Editor *G. N. Kablis*

Managing Editor *T. A. Nekuchaeva*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году
академиком Н. П. Юшкиным.

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Двухлетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2023) — 0.540



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995
by Academician N. P. Yushkin.

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Two-year RSCI
impact factor (2023) — 0.540

Содержание

Content

Научные статьи

Scientific articles

Перспективы рудоносности по минералогическим данным участка «Западный Янги-Умид» (Узбекистан) <i>В. Д. Цой, С. С. Сайитов, А. В. Расулова, С. Е. Булин</i>3	Ore potential prospects based on mineralogical data of the West Yangi-Umid site (Uzbekistan) <i>V. D. Tsoi, S. S. Saitov, A. V. Rasulova, S. E. Bulin</i>3
Региональные закономерности распределения смол и асфальтенов в нефтях Западной Сибири <i>Л. С. Борисова</i> 10	Regional distribution patterns of resins and asphaltenes in Western Siberia oils <i>L. S. Borisova</i> 10
Процессы дегазации на дне Атлантического океана <i>И. Г. Добрецова</i> 18	Degassing processes at the bottom of the Atlantic ocean <i>I. G. Dobretsova</i> 18
Минералогия медных шлаков Выйского завода <i>Ю. В. Ерохин, В. С. Пономарев, А. В. Захаров, Л. В. Леонова</i>29	Copper slags mineralogy of the Vyisky plant <i>Yu. V. Erokhin, V. S. Ponomarev, A. V. Zakharov, L. V. Leonova</i>29

Хроника, события, факты

Chronicle, events, facts

Отцы, ковавшие победу35	Fathers, who forged the Victory35
-------------------------------	---

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Перспективы рудоносности по минералогическим данным участка «Западный Янги-Умид» (Узбекистан)

В. Д. Цой, С. С. Сайитов, А. В. Расулова, С. Е. Булин

Институт минеральных ресурсов, Ташкент, Узбекистан
vtsoi@inbox.ru, sardorsayitov@gmail.com, alinarasulova1986@gmail.com

Актуальность настоящей статьи заключается в оценке перспектив рудоносности по минеральному составу руд, его разнообразию на участке «Западный Янги-Умид». Предметом исследований являются рудные минералы, установление стадийности гипогенного минералообразования. В процессе исследований применялись геологическая документация рудоносных и минерализованных зон, опробование, подготовка проб-протолок, отбор проб для химического и геохимического анализов, описание шлифов и аншлифов, минералогический анализ продуктов гравобогащения, рентгеноспектральные микрозондовые исследования, выявление вертикальной зональности оруденений, составление схемы стадийности гипогенного минералообразования на основании минераграфических данных.

В результате исследований на участке «Западный Янги-Умид» установлены 26 рудных минералов. Большой диапазон минералообразования – от ранней окисной стадии с магнетит-гематитовой ПМА до кварц-кальцит-барит-флюоритовой карбонатно-фторидной стадии – свидетельствует о перспективах участка «Западный Янги-Умид». Среди них продуктивными на золото являются пирит-арсенопиритовая с золотом ПМА раннесульфидной стадии и золотосеребряная ПМА одноименной стадии.

Ключевые слова: рудные минералы, золото, схема гипогенного минералообразования, участок «Западный Янги-Умид», Зиаэтинское рудное поле

Ore potential prospects based on mineralogical data of the West Yangi-Umid site (Uzbekistan)

V. D. Tsoi, S. S. Saitov, A. V. Rasulova, S. E. Bulin

Institute of Mineral Resources, Tashkent, Uzbekistan

The relevance of this article lies in the assessment of the prospects for ore-bearing mineral composition of ores, its diversity in the West Yangi-Umid area. The subject of the research is ore minerals, stages of hypogene mineral formation. In the process of research, we used geological documentation of ore-bearing and mineralized zones, sampling, sample preparation for chemical and geochemical analysis, description of thin and polished sections, mineralogical analysis of gravity enrichment products, X-ray spectral microprobe studies, identification of vertical zoning of mineralization, a scheme of the stages of hypogene mineral formation based on mineragraphic data.

As a result of research, 26 ore minerals in the Western Yangi-Umid area were identified. A wide range of mineral formation – from the early oxide stage with magnetite-hematite PMA to quartz-calcite-barite-fluorite carbonate-fluoride stage indicates the prospects of the Western Yangi-Umid site. Among them, the pyrite-arsenopyrite with gold PMA of the early sulphide stage and gold-silver PMA of the same stage are productive for gold

Keywords: ore minerals, gold, hypogene mineral formation scheme, Western Yangi-Umid site, Ziaetdin ore field

Введение

Участок «Западный Янги-Умид» расположен в Зиаэтинском рудном поле (рис. 1). Рудовмещающие толщи определяются сочетанием первично-осадочных свойств с отчетливыми признаками наложенных метаморфических и метасоматических преобразований.

Образовавшиеся метасоматиты характеризуются относительной схожестью состава и текстурно-структурными особенностями.

В группе метатерригенных пород выделены следующие разновидности: 1) сланцы углисто-серицит-

полевошпат-кварцевые с гидроксидами железа; 2) алевросланцы осветленные с реликтами углистого вещества, неравномерно лимонитизированные; 3) сланцы слюдисто-хлорит-полевошпат-кварцевые; 4) кристаллические сланцы полевошпат-амфибол-эпидот-цоизитовые.

Кроме того, отмечаются метаэффузивы кварц-полевошпатового состава с порфиоровыми включениями каолинизированного полевого шпата; карбонатные породы (известняк, мрамор, доломит) и кварцевые жилы.

Для цитирования: Цой В. Д., Сайитов С. С., Расулова А. В., Булин С. Е. Перспективы рудоносности по минералогическим данным участка «Западный Янги-Умид» (Узбекистан) // Вестник геонаук. 2025. 5(365). С. 3–9. DOI: 10.19110/geov.2025.5.1

For citation: Tsoi V. D., Saitov S. S., Rasulova A. V., Bulin S. E. Ore potential prospects based on mineralogical data of the West Yangi-Umid site (Uzbekistan). Vestnik of Geosciences, 2025, 5(365), pp. 3–9. DOI: 10.19110/geov.2025.5.1



Q _{IV} zr	1	Q _{III} sk	2	Q _{II} kr	3	N ₁ ag	4	P ₃ -N ₁ sr	5	P ₂ klt	6
P ₁₋₂ sg	7	P ₁₋₂ kz+nr	8	K ₂ tm	9	K ₂ krn	10	K ₂ sk	11	K ₁₋₂ kr	12
K ₁ az	13	γ ₂ C ₃ kz	14	C ₁ tm	15	D ₁ da	16	S ₂ pz	17	O ₂₋₃ al	18
R ₃ bl	19	PR ₂ kt	20	D ₁₋₂ sp	21		22	○ к.	23	—+—	24

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Зиаэтинских гор (Хан и др., 2006)

Условные обозначения: 1–3, 14 – комплексы: 1 – зарафшанский, 2 – сукайтинский, 3 – карнабский, 14 – каратыубе-зирабулакский (вторая фаза); 4–21 – свиты: 4 – агитминская, 5 – сарбатырская, 6 – культабанская, 7 – сугралинская, 8 – казахтауская и нуринская объединённые, 9 – тымская, 10 – карнапская, 11 – сукайтинская, 12 – караизская, 13 – азкамарская, 15 – тымсайская, 16 – джалкыраймахальская, 17 – пязынская, 18 – алтыаульская, 19 – булямущская, 20 – катармайская, 21 – саппенская; 22 – населённые пункты, 23 – колодцы, 24 – границы областей

Fig. 1. Schematic geological map of the Ziaetdin Mountains (Khan et al., 2006)

Legend: 1–3, 14 – complexes: 1 – Zarafshansky, 2 – Sukaytinsky, 3 – Karnabsky, 14 – Karatyube-Zirabulaksky (second phase); 4–21 – suites: 4 – Agitminskaya, 5 – Sarbatyrskaya, 6 – Kultabanskaya, 7 – Sugralyskaya, 8 – combined Kazakhtauskaya and Nurinskaya, 9 – Tymskaya, 10 – Karnapskaya, 11 – Sukaytinskaya, 12 – Karaizskaya, 13 – Azkamarskaya, 15 – Tymsayskaya, 16 – Dzhalkyrimakhalskaya, 17 – Pyazynskaya, 18 – Altyaulakaya, 19 – Bulyamushskaya, 20 – Katarmayskaya, 21 – Sappenskaya, 22 – settlements, 23 – wells, 24 – regional borders

Методы исследований

В процессе исследований применялись геологическая документация рудоносных и минерализованных зон, опробование, подготовка проб-протоколов, отбор проб для химического и геохимического анализов, описание шлифов и аншлифов, минералогический анализ продуктов гравобогащения, рентгеноспектральные микронзондовые исследования, выявление вертикальной зональности оруденений, составление схемы этапности и стадийности гипогенного минералообразования на основании минераграфических данных (Тимкин, 2012; Логвиненко, Тимкин, 2014; Иващенко и др., 2014; Цой и др., 2020).

Полученные результаты

Золоторудные тела на участке представлены кварцевыми жилами, зонами прожилкового и метасоматического окварцевания, сульфидизации, ожелезнения, серицитизации и брекчирования вмещающих пород. Минерализованные зоны как в плане, так и в разрезах имеют лентовидную форму и приурочены к разломам северо-восточного направления.

Руда участка «Западный Янги Умид» на 95–98 % представлена породообразующими минералами. По данным рентген-дифракционного анализа минеральный состав руд участка «Западный Янги-Умид» следующий: кварц – 14.3 %; серицит – 38.7 %; хлорит – 6.1 %; пла-



гиоклаз — 35.5 %; кальцит — 0.9 %; пирит — 1.0 % и акцессорные минералы в небольших количествах.

В результате изучения аншлифов и искусственных аншлифов (брикетов), изготовленных из концентратов проб-протокочек, установлены следующие рудные минералы: пирит, оксигидроксиды железа (гетит, гидрогетит), гематит, акантит, самородные золото и серебро, арсенопирит, марказит, псиломелан, пиролюзит, халькопирит, рутил, борнит, графит, ильменит, магнетит, блеклые руды, сфалерит, галенит, пираргирит, пирротин, англезит, антимонит, висмутин, ковеллин (табл. 1). При диагностике минералов использованы справочные материалы (Рамдор, 1962; Чвилева и др., 1988).

Форма проявления рудных минералов в основном вкрапленная, гнездообразная, в виде небольших ступков и скоплений, прожилок. Эти минералы образуют тесные сростки между собой и с нерудными минералами. Текстуры руд — вкрапленная, прожилковая, камчатая (обрастания), замещения. Структуры — аллотриоморфнозернистая, характеризующаяся неопределенной или неправильной формой зерен, и гипидиоморфнозернистая. По размеру зерен — неравномернозернистая, от мелко- до крупнозернистой. Некоторые минералы часто трещиноватые, дробленные. Рудные минералы развиваются по трещинам пород и в межзерновых пространствах (интерстициях) минералов, образуя небольшие скопления и прожилки разной толщины. Часто наблюдается неравномерно рассеянная вкрапленность мелких зерен.

Наиболее часто встречаемые минералы на участке «Западный Янги-Умид» могут быть определены как преимущественно сульфидно-оксидные. Содержание рудных минералов достигает 20–25 %. Массовое присутствие окси-гидроксидов железа указывает на высокую степень окисленности руд.

Пирит и арсенопирит образуют тесную ассоциацию между собой и иногда с золотом. В зоне окисле-

ния замещаются гидроксидами железа, скородитом. Остальные минералы отмечены в количестве единичных или частых зерен.

Основной продуктивной на золото является пирит-арсенопиритовая парагенетическая минеральная ассоциация с золотом (ПМА). Минералы более поздней золотосеребряной стадии минералообразования установлены в единичных зернах и не имеют практического интереса. Более широкое распространение минералов полиметаллической и золотосеребряной стадий отмечается на соседнем участке «Янги-Умид» (Цой и др., 2020).

Золотое оруденение на участке гидротермального происхождения. Для выявления последовательности рудоотложения были выявлены парагенетические минеральные ассоциации рудных минералов (табл. 2).

Рудная минерализация начинается образованием предрудных метасоматитов и продолжается образованием ранней окисной стадии, представленной магнетит-гематитовой ПМА (рис. 2).

Собственно золоторудная стадия начинается отложением пирит-арсенопиритовой с золотом ПМА раннесульфидной стадии минералообразования. Суммарное содержание пирита и арсенопирита колеблется от частых зерен до 20–25 %. Размер зерен варьирует в пределах от 0.01 до почти 6.0 мм. Текстура пирита вкрапленная, прожилковая, массивная, а также замещения. Образуются сложные сростки.

Самородное золото встречается в аншлифах в виде единичных точечных зерен. Состав самородного золота определен рентгеноспектральным локальным анализом (табл. 3): Au — 82.57–82.95 %, Ag — 16.76–17.01 %.

Результаты корреляционного анализа содержаний рудогенных элементов в составе руд на участке «Западный Янги-Умид» также подтвердили связь золотого оруденения с более ранними стадиями гидро-

Таблица 1. Минеральный состав пород и руд участка «Западный Янги-Умид»

Table 1. Mineral composition of rocks and ores of the Western Yangi-Umid site

Распространенность Distribution	Минералы гипогенные / Hypogene minerals		Минералы гипергенные Hypergene minerals
	нерудные / barren	рудные / ore	
широко распространенные widely distributed	кварц, плагиоклаз, хлорит, серицит, биотит quartz, plagioclase, chlorite, sericite, biotite	пирит, арсенопирит, золото и серебро самородные pyrite, arsenopyrite, native gold and silver	оксигидроксиды железа (гётит, гидрогётит, охры), ярозит, глинистые минералы iron oxyhydroxides (goethite, hydrogoethite, ochers), jarosite, clay minerals
локально распространенные locally distributed	КПШ, мусковит, эпидот, цоизит, амфибол, кальцит, доломит, волластонит, углистое вещество, графит Potassium feldspar, muscovite, epidote, zoisite, amphibole, calcite, dolomite, wollastonite, carbonaceous matter, graphite	халькопирит, борнит, пирротин, сфалерит, галенит, марказит, блёклые руды, антимонит chalcopyrite, bornite, pyrrhotite, sphalerite, galenite, marcasite, fahlores, antimonite	барит, целестин, гипс, халькозин, ковеллин, псиломелан, пиролюзит barite, celestine, gypsum, chalcocite, covellite, psilomelane, pyrolusite
акцессорные accessory	апатит, моноцит, турмалин, циркон apatite, monocyte, tourmaline, zircon	ильменит, акантит, пираргирит, рутил, гематит, висмутин, магнетит ilmenite, acanthite, pyrargyrite, rutile, hematite, bismuthite, magnetite	англезит, церрусит anglesite, cerrusite



Таблица 2. Схема истории гипогенного минерало- и рудообразования на участке «Западный Янги-Умид»

Table 2. Scheme of the history of hypogene mineral ore formation in the Western Yangi-Umid site

Этапы минералообразования Stages of mineral formation	Стадии минерализации Stages of mineralization	Парагенетические минеральные ассоциации Paragenetic mineral associations	Типоморфные минералы Typomorphic minerals	Распространенность Prevalence
Гидротермальный / Hydrothermal	карбонатно-силикатная carbonate-silicate	карбонат-кварцевая carbonate-quartz	кварц, кальцит quartz, calcite	++
	карбонатно-фторидная carbonate-fluoride	кварц-кальцит-барит-флюоритовая quartz-calcite-barite-fluorite	кальцит, кварц, барит, целестин calcite, quartz, barite, celestine	+
	сурьмяная antimony	кварц-антимонитовая quartz-antimonite	кварц, антимонит, кальцит quartz, antimonite, calcite	+
	золотосеребряная gold-silver	собственно серебряная proper silver	серебро самородное, пираргирит, акантит, халькопирит, блеклая руда native silver, pyrrargyrite, fahlore	+
		золотосеребряная gold-silver	золото, <i>электрум</i> , халькозин, ковеллин, халькопирит, кварц, кальцит gold, electrum, chalcocine, covellite, chalcopyrite, quartz, calcite,	+
	полиметаллическая polymetallic	галенит-блеклорудная galena-fahlore	галенит, блеклая руда, сфалерит, кварц, кальцит galena, fahlore, sphalerite, quartz, calcite	+
		сфалерит-халькопирит-галенитовая sphalerite-chalcopyrite-galena	сфалерит, халькопирит, галенит, кальцит, хлорит sphalerite, chalcopyrite, galena, calcite, chlorite	+
	раннесульфидная early sulfide	халькопирит-висмутовая chalcopyrite-bismuth	халькопирит, висмутин, ковеллин chalcopyrite, bismuthinite, covellite	+
		халькопирит-пирротиновая chalcopyrite-pyrrhotite	пирротин, халькопирит, марказит pyrrhotite, chalcopyrite, marcasite	++
		пирит-арсенопиритовая с золотом pyrite-arsenopyrite with gold	кварц, пирит, арсенопирит, золото самородное quartz, pyrite, ar-senopyrite, native gold	+++
	ранняя оксидная early oxide	магнетит-гематитовая magnetite-hematite	гематит, магнетит, пирит hematite, magnetite, pyrite	+
	предрудные метасоматиты pre-metasomatites	кварц-серицит-хлоритовая quartz-sericite-chlorite	кварц, хлорит, серицит, гематит, магнетит quartz, chlorite, sericite, hematite, magnetite	++

Примечание: + — слабое проявление, ++ — среднее проявление, +++ — широкое проявление.

Note: + — is a weak manifestation, ++ — is a medium manifestation, +++ — is a wide manifestation.

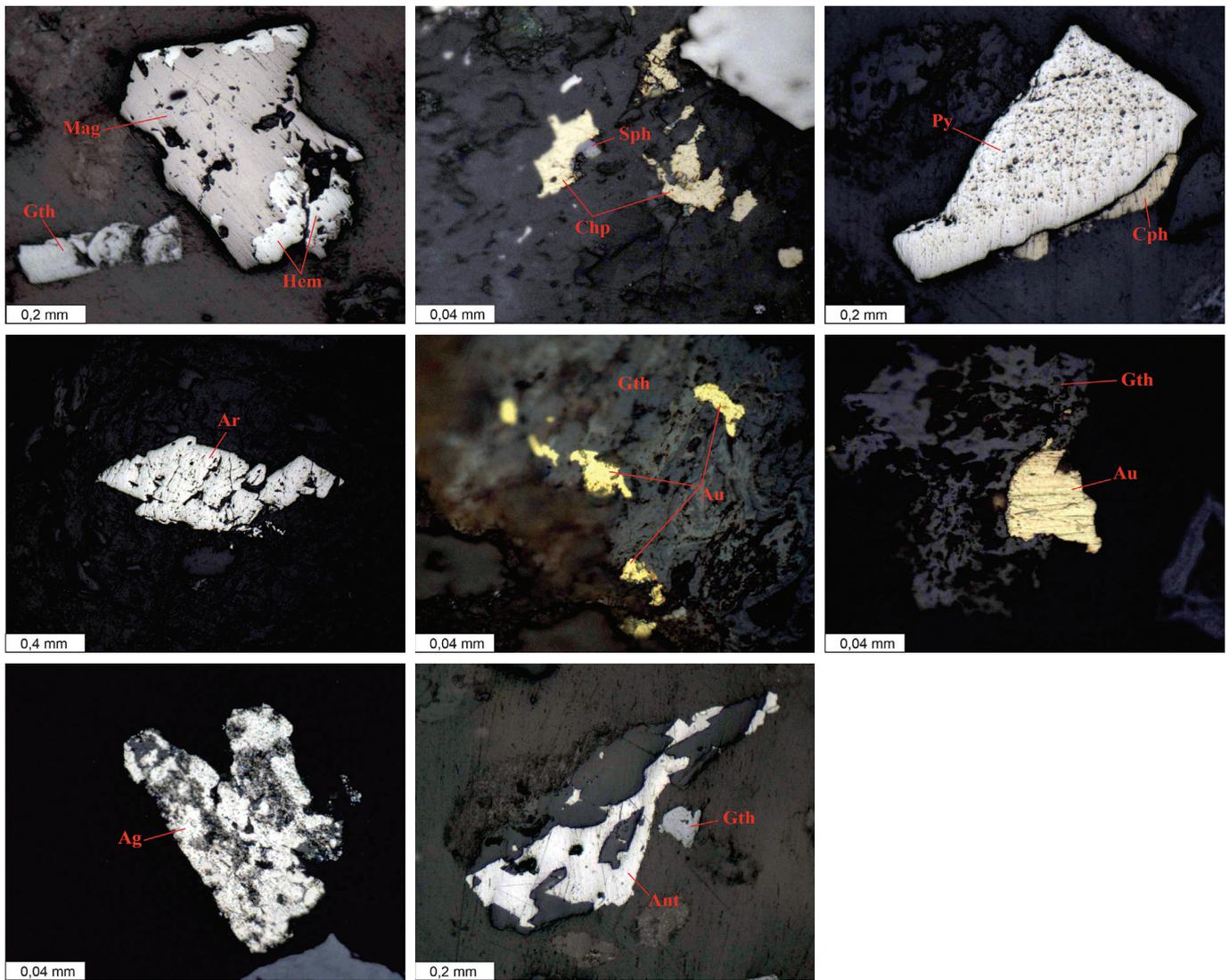


Рис. 2. Микроминеральная парагенетическая ассоциация рудных минералов.

Фотографии в отраженном свете: **py** — пирит, **ar** — арсениопирит, **gth** — гидроксиды железа, **mag** — магнетит, **hem** — гематит, **cph** — халькопирит, **sph** — сфалерит, **Au** — самородное золото, **Ag** — самородное серебро, **ant** — антимонит

Fig. 2. Micromineral paragenetic association of ore minerals.

Reflected light photography: **py** — pyrite, **ar** — arsenopyrite, **gth** — iron hydroxides, **mag** — magnetite, **hem** — hematite, **cph** — chalcopyrite, **sph** — sphalerite, **Au** — native gold, **Ag** — native silver, **ant** — antimonite

термального минералообразования. Для золота установлены сильные положительные корреляционные связи с мышьяком и вольфрамом.

Золотое оруденение сопровождается наложением минералов халькопирит-пирротиновой, халькопирит-висмутовой ПМА в небольших количествах.

Халькопирит-пирротиновая ПМА представлена сростками халькопирита и пирротина, из типоморфных минералов в халькопирит-висмутовой ПМА установлен висмутин в единичных зернах.

Полиметаллическая стадия минералообразования представлена типоморфными минералами сфалерит-халькопирит-галенитовой, галенит-блеклорудной ПМА — галенитом, блеклой рудой, сфалеритом и халькопиритом. Они образуют между собой тесно срастающиеся микроминеральные ассоциации.

В единичных зернах установлены акантит, сульфосоли серебра, самородное серебро, которые характерны для золотосеребряной стадии минералообразо-

вания. Самородное серебро установлено в тяжелых фракциях в виде свободных зерен ксеноморфной формы. Но они не имеют широкого распространения и промышленного значения.

Сурьмяная стадия присутствует в виде кварц-антимонитовой ПМА. Антимонит отмечен в брикете в виде единичных зерен в свободном виде. Форма зерен удлиненная, ксеноморфная, длиннопризматическая. В этой ПМА часто встречается киноварь (HgS). По данным рентгеноспектрального локального анализа, в одной из проб установлен монтроидит (HgO) (табл. 3). Это свидетельствует о возможности наличия в первичных рудах киновари.

Карбонатно-фторидная стадия минералообразования представлена баритом, целестином. Завершает процесс минералообразования карбонатно-силикатная стадия, она представлена жильно-прожилковыми образованиями кварц-кальцитового, кальцитового состава.

Таблица 3. Химический состав минералов по результатам рентгеноспектрального микрозондового анализа (Jeol 8800R)
Table 3. Chemical composition of minerals sample based on the results of X-ray spectral microprobe analysis (Jeol 8800R)

Минералы Minerals	Формула Formula	Элементы, % / Elements, %																	Сумма Sum		
		Au	Ag	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	As	O		Hg	Cl
Гидрогегит Hydrogoethite	FeOОН·nH ₂ O	н. о.	н. о.	0.6	0.23	1.24	0.07	0.23	н. о.	н. о.	н. о.	0.35	57.35	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	27.13	н. о.	н. о.	87.20
		»	»	0.48	0.21	1.56	н. о.	0.33	»	»	»	0.75	57.35	»	»	»	»	27.75	»	»	88.43
Самородное золото в гидрогегите Native gold in hydrogoethite	Au	82.95	17.01	н. о.	»	»	»	н. о.	0.27	»	»	»	»	н. о.	»	»	100.23				
		82.57	16.76	»	»	»	»	»	»	»	»	»	0.69	»	»	»	»	»	»	»	»
Гидрогегит в сростках с самородным золотом Hydrogoethite in intergrowths with native gold	FeOОН·nH ₂ O	н. о.	н. о.	0.26	0.35	0.7	»	0.59	»	»	»	»	61.47	н. о.	н. о.	»	2.45	29.24	»	»	95.06
		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Монтроидит Montroidite	HgO	»	»	н. о.	0.87	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	7.3	86.85	»	95.02								

Примечание: н. о. — не обнаружено.
 Note: н. о. — not detected.



Обсуждение

Как видно из таблицы 2, на участке установлены две парагенетические минеральные ассоциации для золотого оруденения, среди которых имеет промышленное значение только пирит-арсенопиритовая с золотом раннесульфидной стадии. Золотосеребряная ПМА не проявляет промышленного значения самостоятельно.

Большой диапазон минералообразования от магнетит-гематитовой ПМА ранней окисной стадии до кварц-кальцит-барит-флюоритовой карбонатно-фторидной стадии свидетельствует о перспективах участка «Западный Янги-Умид». Как ранее отмечала Н. В. Петровская, разнообразный минеральный состав руд, охватывающий широкий диапазон гипогенного минералообразования, свидетельствует о масштабах золотого оруденения (Петровская, 1981).

Заключение

На участке «Западный Янги-Умид», расположенном в Зиаэтинском рудном поле, установлены 26 рудных минералов. Они охватывают широкий диапазон гипогенного минералообразования, от ранней окисной стадии с магнетит-гематитовой ПМА до карбонатно-фторидной с кварц-кальцит-барит-флюоритовой ПМА.

Среди них продуктивными на золото являются пирит-арсенопиритовая с золотом ПМА раннесульфидной стадии. По содержанию сульфидов и формам нахождения золота, руду участка «Западный Янги-Умид» можно отнести к малосульфидному золото кварцевому геолого-промышленному типу руд.

Самородное золото в виде единичных точечных зерен располагается в карбонатно-сланцеватой массе вблизи гетита. Ассоциирует с пиритом, арсенопиритом, гетитом.

По разнообразию рудных минералов, охватывающих широкий диапазон гипогенного минералообразования, можно судить о значительных перспективах участка «Западный Янги-Умид».

Литература / References

Иващенко В. Н., Голубев А. И., Ибрагимов М. М., Ромашкин А. Е. Золотосодержащее оруденение архея Койкарской структуры: генетическая типизация, минеральные ассоциации, условия образования, перспективы // Труды Карельского научного центра РАН. 2014. № 1. С. 39–55.

Ivaschenko V. N., Golubev A. I., Ibragimov M. M., Romashkin A. E. Archean gold-bearing mineralization of the Koikar structure: genetic typing, mineral associations, formation conditions, prospects. Proceedings of the Karelian SC RAS, 2014, No. 1, pp. 39–55. (in Russian)

Логвиненко О. В., Тимкин Т. В. Вещественный состав и последовательность минералообразования рудопоявления Лог-26 Топольнинского золоторудного поля (Горный Алтай) // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 383. С. 212–220.

Logvinenko O. V., Timkin T. V. Material composition and sequence of mineral formation of the Log-26 ore occurrence of the Topolninsky gold ore field (Altai Mountains). Bulletin of Tomsk State University, 2014, No. 383, pp. 212–220. (in Russian)

Петровская Н. В. Минералогические признаки и критерии оценки рудных месторождений гидротермального генезиса // Минералогические критерии оценки рудоносности. Л.: Наука, 1981. С. 26–38.

Petrovskaya N. V. Mineralogical features and criteria for assessing ore deposits of hydrothermal genesis. Mineralogical criteria for assessing ore content. Leningrad: Nauka, 1981, pp. 26–38. (in Russian)

Рамдор П. М. Рудные минералы и их сростания. М.: ИЛ, 1962. 1132 с.

Ramdor P. M. Ore minerals and their intergrowths. Moscow: IL, 1962, 1132 p. (in Russian)

Тимкин Т. В. Эндогенная рудно-метасоматическая зональность Майско-Лебедского золоторудного поля // Известия Томского политехнического института. 2012. Т. 320. № 1. С. 55–63.

Timkin T. V. Endogenous ore-metasomatic zoning of the Maysko-Lebedskoye gold ore field. Bulletin of the Tomsk Polytechnic Institute, 2012, V. 320, No. 1, pp. 55–63. (in Russian)

Цой В. Д., Королева И. В., Сайитов С. С., Булин С. Е. Стадийность гипогенного минералообразования рудных месторождений Узбекистана и её значение при оценке перспективности разведываемых объектов // Геология и минеральные ресурсы. 2020. № 1. С. 15–18.

Tsoi V. D., Koroleva I. V., Saitov S. S., Bulin S. E. Staging of hypogene mineral formation of ore deposits in Uzbekistan and its significance in assessing the prospects of explored objects. Geology and mineral resources, 2020, No. 1, pp. 15–18. (in Russian)

Чвилева Т. Н., Безсмертная М. С., Спиридонов Э. М., Агроскин А. С., Папоян Г. В. Справочник-определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1988. 504 с.

Chvileva T. N., Bezsmertnaya M. S., Spiridonov E. M., Agroskin A. S., Papoyan G. V. Identification handbook of ore minerals in reflected light. Moscow: Nedra, 1988, 504 p. (in Russian)

Хан Р. С., Асатуллаев Н. Р., Лошкин Ю. И., Шадрин В. Л., Шнырёв Д. В., Миркамалов Р. Х., Старцев О. А., Чирикин В. В., Омонов Х. А., Короткова Е. В., Якубов Б. Х., Равшанов А. А. Составление карты полезных ископаемых Самаркандского горнорудного района м-ба 1:100000 на обновлённой геологической основе для регистрации и направления дальнейших поисковых работ за 2002–2006 гг. Самарканд: Самаркандгеология, Галляаральская ГРЭ, 2006.

Khan R. S., Asatullaev N. R., Loshkin Y. I., Shadrin V. L., Shnyryov D. V., Mirkamalov R. H., Startsev O. A., Chirikin V. V., Omonov H. A., Korotkova E. V., Yakubov B. H., Ravshanov A. A. Map compilation of mineral resources of Samarkand mining district at a scale 1:100000 on the updated geological basis for registration and direction of further prospecting works for 2002–2006. Samarkand: Samarkandgeologiya, Gallyaaral GRE, 2006. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received 21.02.2025

Региональные закономерности распределения смол и асфальтенов в нефтях Западной Сибири

Л. С. Борисова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

BorisovaLS@ipgg.sbras.ru

В работе изучены пространственные закономерности распределения смол и асфальтенов в нефтях основных региональных резервуаров Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. В результате проведенных исследований на схематических картах для региональных резервуаров (нижняя и средняя юры в целом, верхняя юра (горизонты П, Ю₀, Ю₁), неоком, апт-альб-сеноман) показано, что от центральных районов в северном, северо-восточном и юго-восточном направлениях наблюдается уменьшение содержания в нефтях смол и асфальтенов. В центральной части Западной Сибири в отложениях юры и мела локализуются нефти с относительно высоким содержанием смол и асфальтенов, образованные в глубоководных осадках с сероводородным заражением. В северных районах Западной Сибири, где в морских осадках существовали менее восстановительные условия и был существенно более высокий уровень катагенеза, в юрских и неокомских отложениях локализуются малосмолистые, практически безасфальтеновые лёгкие нефти. Построенные карты-схемы распределения смол и асфальтенов в нефтях могут использоваться при прогнозе качества нефтей, при оценке перспектив нефтегазоносности Западной Сибири.

Ключевые слова: асфальтены, смолы, нефть, юрско-меловые отложения, Западная Сибирь

Regional distribution patterns of resins and asphaltenes in Western Siberia oils

L. S. Borisova

A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Novosibirsk, Russia

The paper studies the spatial distribution patterns of resins and asphaltenes in the main regional oils reservoirs of the West Siberian megabasin. The studies on schematic maps for the main regional reservoirs (Lower and Middle Jurassic in general, Upper Jurassic (horizons П, Ю₀, Ю₁), Neocomian, Aptian-Albian-Cenomanian) show that, from the central regions in the northern, northeastern and southeastern directions, a decrease in the content of resins and asphaltenes in oils is observed. In the central part of Western Siberia, oils with a relatively high content of resins and asphaltenes, formed in deep-sea sediments with hydrogen sulfide contamination, are localized in Jurassic and Cretaceous deposits. In the northern regions of Western Siberia, where less reducing conditions existed in marine sediments and there was a significantly higher level of catagenesis, low-resin, virtually asphaltene-free, light oils are localized in Jurassic and Neocomian deposits. The constructed maps-schemes of distribution of resins and asphaltenes in oils can be used in forecasting the quality of oils, in assessing the prospects of oil and gas potential of the West Siberian megabasin.

Keywords: asphaltenes, resins, oil, Jurassic-Cretaceous deposits, Western Siberia

Введение

Исследования по геохимии нефтей Западной Сибири имеют полувековую историю. В 1956—1959 годы А. И. Богомоловым и В. А. Успенским были проведены аналитические исследования первых проб западносибирских нефтей. Крупные монографические работы и статьи по геохимии и по геологии западносибирских нефтей были опубликованы А. Э. Конторовичем с сотрудниками в последующие годы (Конторович и др., 1967, 1974; Конторович, Стасова, 1964, 1978). Наиболее полная информация содержится в обобщающей монографии (Конторович и др., 1975). В этих работах впервые была проведена типизация нефтей Западной Сибири, закартированы закономерности изменения их плотности, содержания серы, гетероциклических соединений и пр.

В 1960—1970-е годы на картах информация по северным районам Западной Сибири была представлена единичными пробами. В 1980-е годы было начато планомерное изучение нефтегазоносности неокомских отложений Ямало-Ненецкого автономного округа. Одновременно ряд скважин были пробурены до 5 и более километров. Во многих из этих скважин были получены промышленные притоки нефти и конденсатного газа, а также зафиксированы нефте- и газопроявления. Таким образом, впервые появилась возможность построить для юрских отложений северной половины Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна не карты прогноза свойств нефтей, а в силу малочисленности точек схематические карты изменения основных параметров нефтей, которые могут использоваться как инструмент для прогноза нефтей и кон-



денсатов с определенными свойствами в перспективных, но малоизученных районах. Схематические карты распределения физико-химических свойств нефтей построены в ИНГТ СО РАН под руководством академика А. Э. Конторовича авторским коллективом: Л. С. Борисовой, Д. В. Косяковым, В. О. Красавчиковым, Е. П. Стрехлетовой (Борисова и др., 2011). При построении этих карт были учтены структурно-геологические особенности соответствующих комплексов (рис. 1) (Конторович и др., 2001). Данные карты могут служить основой не только для дифференциации прогнозных ресурсов нефти по качеству, но и для выработки оптимальных схем их транспортировки и переработки. При этом к важнейшим свойствам нефтей относится содержание в них смол и асфальтенов. Целью настоящего сообщения является установление пространственных закономерностей распределения гетероциклических компонентов (смол и асфальтенов) в нефтях основных региональных резервуаров Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна.

Результаты и обсуждение

Многолетние исследования нефтеносности изучаемой территории свидетельствуют, что в центральной части Западной Сибири в отложениях юры и мела локализуются нефти морского генезиса, образованные в глубоководных осадках с сероводородным заражением (баженовская свита) (Конторович, 1984, 2004; Конторович и др., 2013), высокосернистые (с содержанием серы > 3 %) с относительно высоким содержанием смол и асфальтенов (больше 20 %) по градации А. Э. Конторовича и др. (1975). В северных районах Западной Сибири, где в морских осадках ба-

женовского времени существовали менее восстановительные условия, полностью отсутствовало сероводородное заражение (Конторович, 1984, 2004; Конторович и др., 2013), а современный уровень катагенеза существенно выше (Фомин, 2011), в юрских и неокомских отложениях локализуются малосмолистые (с содержанием смол от 0 до 10 % по градации Конторовича и др., 1975) безасфальтеновые нефти.

Нефти юрского комплекса

Нефти нижнесреднеюрского нефтегазоносного комплекса. Зоны распространения высокосмолистых и смолистых нефтей в нижнесреднеюрских отложениях – Сургутский и Вартовский районы Среднеобской нефтегазоносной области (НГО), а также частично некоторые районы Каймысовской и Фроловской НГО приведены на рис. 2 (Борисова, 2019¹; Нефтегазо-

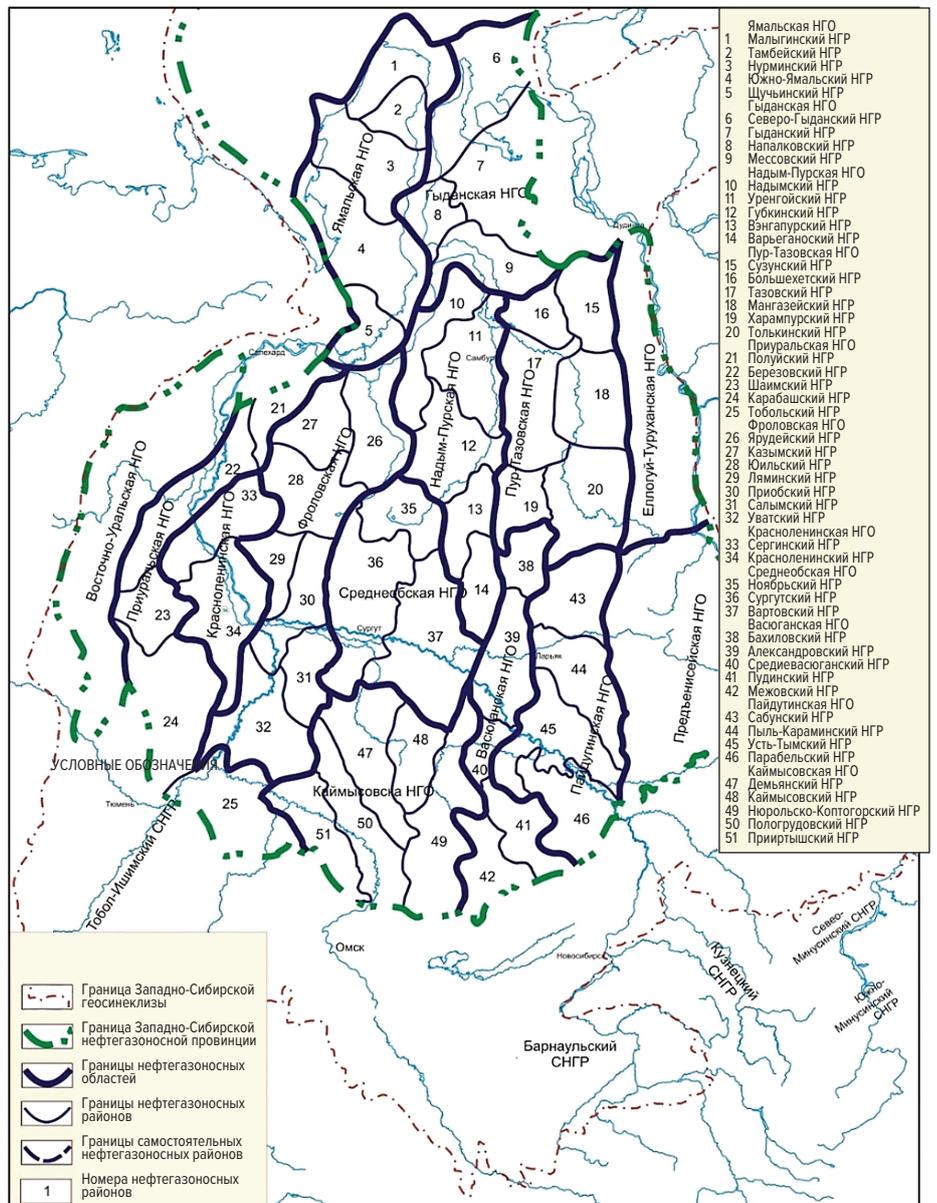


Рис. 1. Схематическая карта нефтегазогеологического районирования Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции с добавлением нефтегазоносных районов (Нефтегазоносные..., 1994)

Fig. 1. Schematic map of oil and gas geological zoning of the West Siberian oil and gas province (with the addition of oil and gas regions (Oil and gas bearing..., 1994)

¹ Борисова Л. С. Геохимия асфальтенов и смол рассеянного органического вещества пород и нефтей юры и нижнего мела Западно-Сибирского бассейна: автореф. дис. ... докт. г.-м. наук: 25.00.09 / Борисова Любовь Сергеевна. Новосибирск: ИНГТ СО РАН, 2019. 36 с.

Borisova L. S. Geochemistry of asphaltenes and resins of dispersed organic matter of rocks and oils of the Jurassic and Lower Cretaceous of the West Siberian Basin: author's abstract. D. Sc. dis.: 25.00.09. Novosibirsk: IPGG SB RAS, 2019, 36 p. (in Russian)

носные..., 1994). Область распространения нефтей средней смолистости занимает практически всю территорию Сургутского района Среднеобской НГО, северную часть Демьянского и центральную часть Каймысовского районов Каймысовской НГО. Единичные залежи нефтей с низким содержанием смол локализуются в нижнесреднеюрских отложениях на юго-востоке и севере Западно-Сибирского нефтегазодносного бассейна.

Аналогично зонам распространения высокосмолистых нефтей расположены области нефтей с высоким содержанием асфальтенов (> 3.0 %): северо-запад Сургутского и юг Вартовского районов Среднеобской НГО, Юганский район, северная часть Демьянского, северо-запад Каймысовского районов Каймысовской НГО (рис. 2).

Единичные пробы нефтей с высоким содержанием асфальтенов встречаются на севере Среднеобской НГО, в центральной части Салымского района Фроловской НГО, а также в Красноленинской, Приуральской и Каймысовской НГО (Борисова, 2019¹; Нефтегазоносные..., 1994). Нефти с содержанием асфальтенов от 2.0 до 3.0 % локализуются в Сергинском районе Приуральской НГО, в Пудинском и Александровском районах Васюганской НГО. На остальной территории Западной Сибири нефти из нижнесреднеюрских залежей характеризуются содержанием асфальтенов не выше 1.0 %. На севере Надым-Пурской и на юге Гыданской НГО встречаются практически безасфальтенистые нефти.

Нефти верхнеюрского нефтегазодносного комплекса. В нефтях верхнеюрского нефтегазодносного

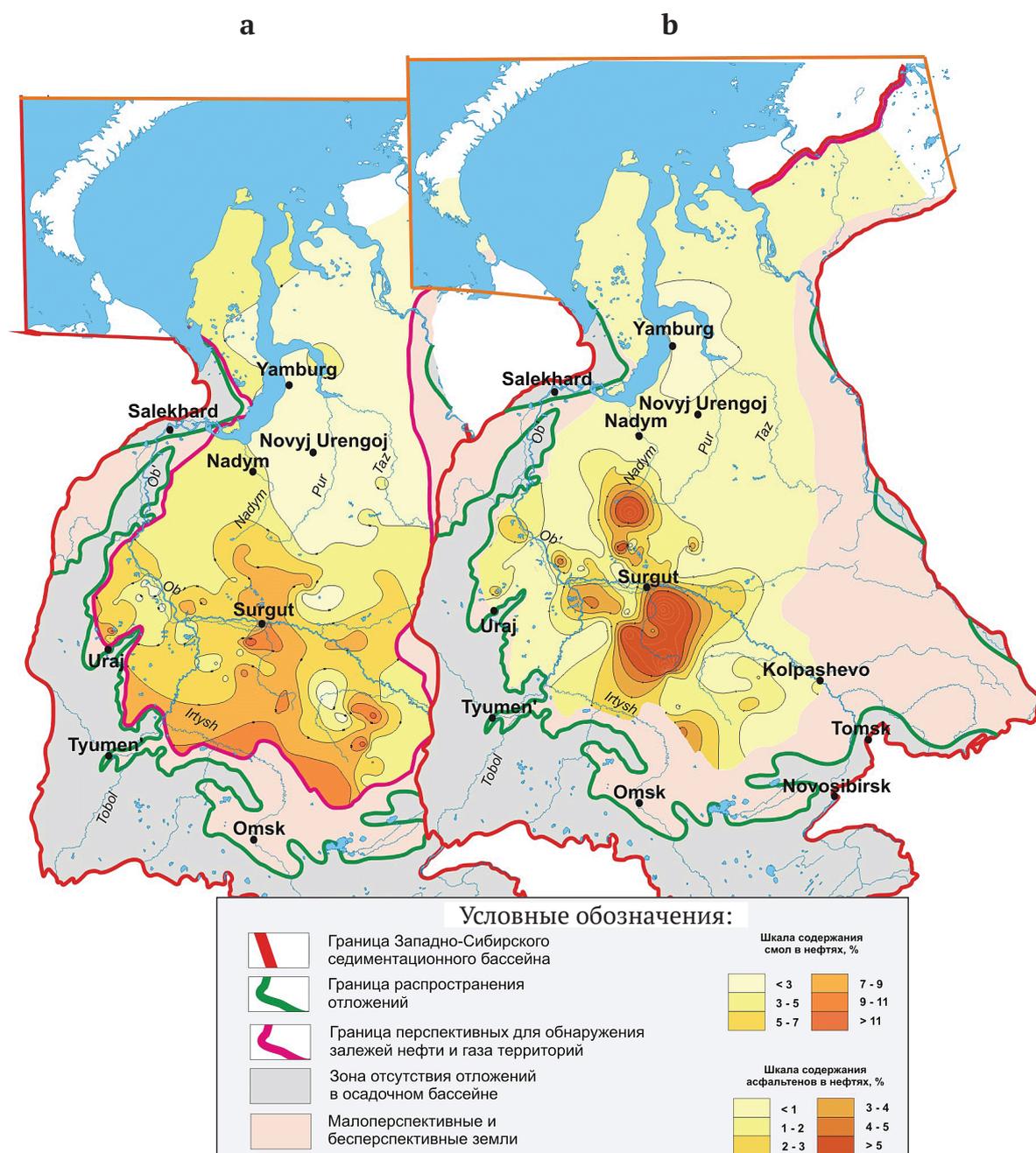


Рис. 2. Схематическая карта распределения смол (а) и асфальтенов (б) в нижнесреднеюрских нефтях Западной Сибири
Fig. 2. Schematic map distribution of resins (a) and asphaltenes (b) in the Lower-Middle Jurassic oils of Western Siberia



комплекса содержание смол не менее контрастно, чем в нефтях из нижнесреднеюрских залежей (среднее — 5.5 %). Наиболее смолистые (до 11.0 %) — нефти Среднеобской, Каймысовской и Фроловской НГО. В общем случае региональная направленность изменения содержания смол, как и для нефтей нижнесреднеюрско-

го комплекса, выражается в уменьшении этого параметра от нефтеносных центральных и южных районов Западной Сибири к преимущественно газоконденсатоносным северным и арктическим территориям (рис. 3) (Нефтегазоносные..., 1994). На востоке бассейна встречаются нефти с содержанием смол < 3.0 %.

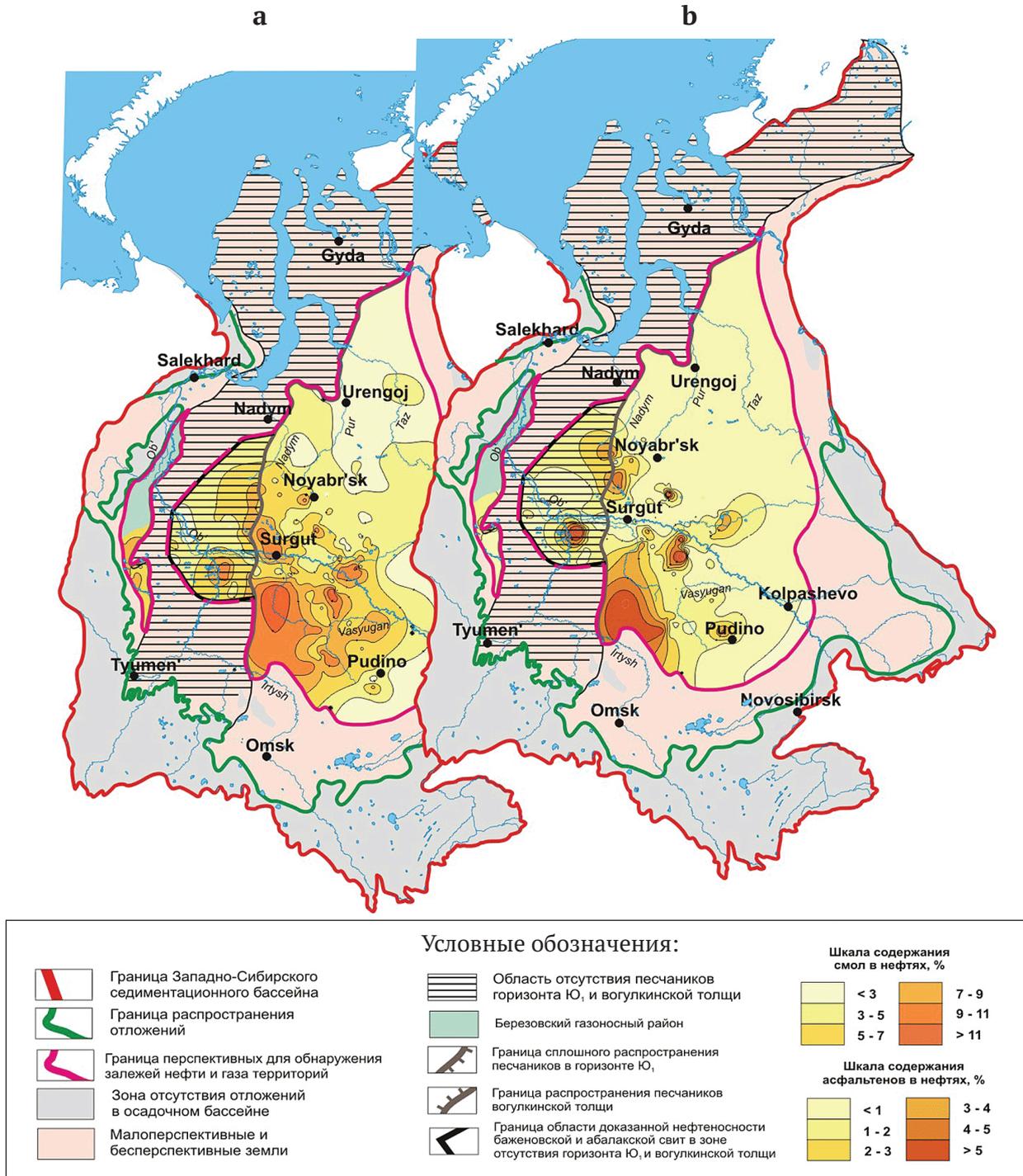


Рис. 3. Схематическая карта распределения смол (а) и асфальтенов (б) в верхнеюрских нефтях Западной Сибири
 Примечание. Границы распространения юрских и меловых отложений, песчаников в горизонте Ю₁, песчаников вогулгинской толщи, области доказанной нефтеносности баженовской и абалакской свит, шельфовых песчаников и в пластах группы А выполнены сотрудниками ИНГТ СО РАН под руководством А. Э. Конторовича

Fig. 3. Schematic distribution map of resins (a) and asphaltenes (b) in Upper Jurassic oils of Western Siberia.
 Note. The distribution boundaries of Jurassic and Cretaceous deposits, sandstones in the Ю₁ horizon, sandstones of the Vogulka formation, proven oil-bearing area of the Bazhenov and Abalak formations, shelf sandstones and in the A-group. Formations were outlined by employees of the IPGG SB RAS under the supervision of A. E. Kontorovich

Подобная картина характерна и для распределения концентраций асфальтенов в нефтях: с концентрацией асфальтенов выше 5.0 % встречаются нефти на северо-западе Сургутского, на юго-западе Вартовского районов Среднеобской НГО, на севере Демьянского и северо-западе Каймысовского районов Каймысовской НГО (рис. 3). Единичные пробы нефтей с содержанием асфальтенов свыше 4.0 % располагаются в Салымском районе Фроловской НГО, в Красноленинском районе Красноленинской НГО, на юге Демьянского района Каймысовской НГО. На большей части востока и северо-востока Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна содержание асфальтенов в нефтях не превышает 1.0 % (Борисова, 2019¹; Нефтегазоносные..., 1994).

Нефти мелового комплекса

Содержание смол и асфальтенов в нефтях меловых отложений отдельно рассмотрено для двух нефтегазоносных горизонтов: берриас-готеривского и готерив-аптского.

Нефти берриас-готеривских нефтегазоносных отложений. Основная масса нефтей берриас-готеривского нефтегазоносного горизонта сходна по составу и свойствам с верхнеюрскими нефтями. Однако зоны нефтей с высоким и средним содержанием смол в шельфовых песчаниках берриас-готеривских отложений распространяются в более восточные районы Западной Сибири.

Наиболее смолистые нефти (с содержанием смол > 9.0 %) локализуются в центральных и южных областях Сургутского района Среднеобской НГО (рис. 4) (Борисова, 2019¹; Нефтегазоносные..., 1994). Зона распространения нефтей с содержанием смол > 5.0 % захватывает центральные и южные районы Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Единичные пробы смолистых нефтей встречаются также в юго-восточной части Харампурского района Пур-Тазовской НГО и на юге некоторых районов Надым-Пурской НГО, где локализуются нефти с содержанием смол от 3.0 до 5.0 %, а иногда и выше. На большей же территории севера Западно-Сибирского мегабассейна содержание смол в нефтях менее 3.0 %: Ямальской, Гыданской (Антипаютинской) и Пур-Тазовской НГО, севере Губкинского района Надым-Пурской НГО. На юге Средне-васюганского района Васюганской НГО, в центральной части Салымского района Фроловской НГО также встречаются единичные пробы малосмолистых нефтей (с содержанием смол < 3.0 %).

Параллельно с ростом смолистости нефтей закономерно изменяется и содержание асфальтенов: в нефтях севера и востока Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна содержание асфальтенов не превышает 1.0 %: Ямальской, Гыданской (Антипаютинской), Пур-Тазовской и Надым-Пурской НГО (за исключением единичных проб в некоторых районах Васюганской НГО) (рис. 4) (Борисова, 2019¹). В центральных районах Западно-Сибирского мегабассейна нефти с содержанием асфальтенов < 1.0 % также отмечаются на юге, севере и на востоке Вартовского и Сургутского районов Среднеобской НГО и в центральных частях Приобского и Салымского районов Фроловской НГО. Нефти с высоким содержанием ас-

фальтенов, доходящим до 5.0 %, встречаются sporadически в Сургутском районе, на юго-востоке Ноябрьского района Среднеобской НГО, на северо-востоке Салымского района Фроловской НГО. На юге Западной Сибири в основном локализуются нефти с содержанием асфальтенов от 2.0 до 3.0 %.

Нефти готерив-аптского нефтегазоносного горизонта. В региональном плане нефти в пластах А и ТП (аналог пластов А на севере Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна) распространены не только в центральной и западной частях бассейна, но и занимают значительную площадь на востоке и на севере Западной Сибири (Ермилов и др., 2004; Нефтегазоносные..., 1994). Нефти готерив-аптских отложений в среднем более смолистые, чем нефти берриас-готеривского комплекса.

Зональность распределения смол в нефтях готерив-аптского нефтегазоносного комплекса в целом идентична зональности распределения плотности этих нефтей. В северных областях Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна распространены малосмолистые нефти. Зона распространения нефтей с содержанием смол менее 3.0 % совпадает с областью локализации лёгких нефтей (Ямальская, Гыданская НГО, частично Пур-Тазовская (Тазовский и север Сузунского районов) и Надым-Пурская (Надымский, Уренгойский и север Губкинского районов) НГО) (рис. 5). В пределах этих же НГО зона малосмолистых нефтей (с содержанием смол от 3.0 до 5.0 %) совпадает с зоной распространения более тяжёлых нефтей: Южно-Ямальский район Ямальской НГО, Напалковский и Мессовский районы Гыданской НГО, юг Сузунского и Мангазейского районов Пур-Тазовской НГО.

Смолистые нефти (с содержанием смол > 9.0 %) в отложениях готерив-аптского нефтегазоносного комплекса встречаются в Сургутском районе, в центральной части Вартовского района Среднеобской НГО, в Варьеганском районе Надым-Пурской НГО, в ряде районов Фроловской НГО (рис. 5) (Ермилов и др., 2004). На остальных территориях юга и юго-востока Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна нефти характеризуются содержанием смол от 7.0 до 9.0 %. Нефти с содержанием смол от 5.0 до 7.0 % встречаются в северных и восточных районах Среднего Приобья.

Для нефтей готерив-аптского нефтегазоносного комплекса характерно незначительное содержание асфальтенов: на севере и арктических территориях — не более 1.0 % (Ямальская, Гыданская (Антипаютинская), Надым-Пурская (за исключением южных частей Губкинского, Вэнгапурского и Варьеганского районов) и Пур-Тазовская НГО (за исключением нефтей Сузунского районов, где концентрация асфальтенов варьирует от 1.0 до 2.0 %) (Борисова, 2019¹; Ермилов и др., 2004) (рис. 5). С содержанием асфальтенов от 1.0 до 2.0 % также встречаются нефти в Варьеганском районе Надым-Пурской НГО, на севере и востоке Среднеобской НГО, в некоторых районах Фроловской НГО. Нефти с высоким процентом асфальтенов (свыше 4.0 %) расположены в центральной части востока Вартовского района Среднеобской НГО, в Салымском районе Фроловской НГО, в Демьянском районе Каймысовской НГО. На остальных территориях юга Западной Сибири концентрация асфальтенов составляет от 2.0 до 4.0 %.

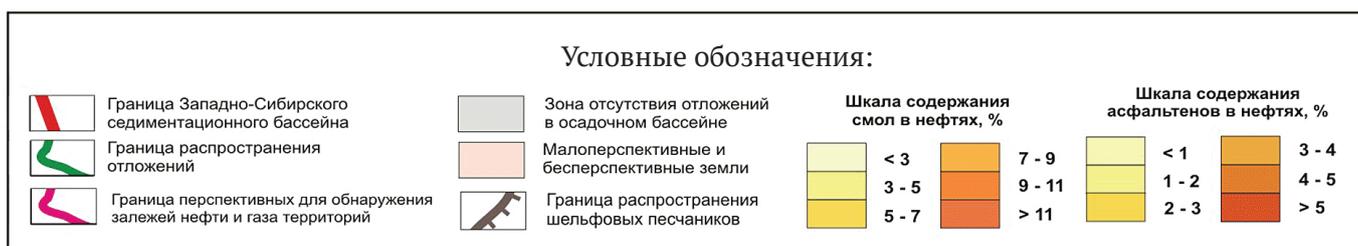
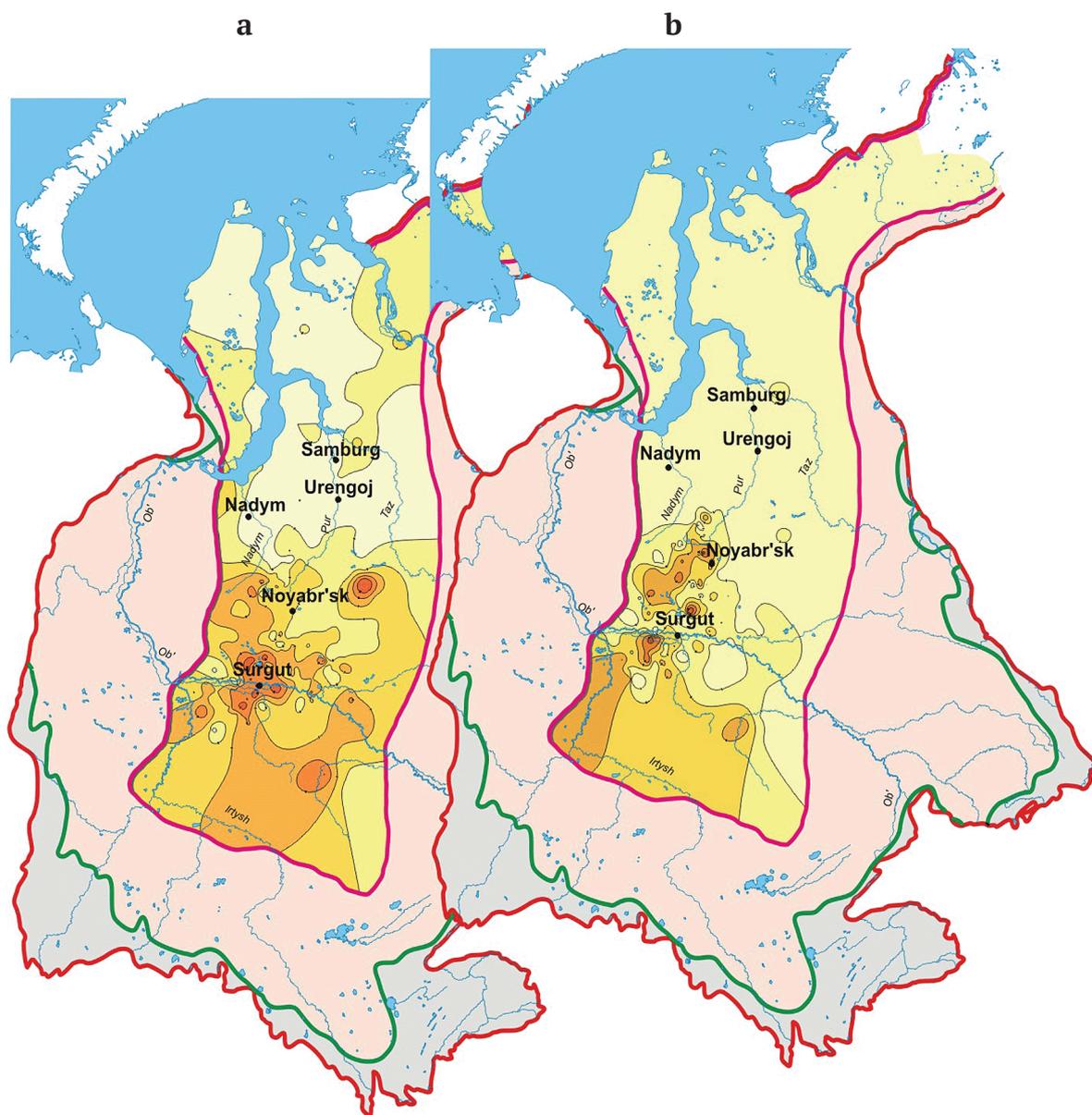


Рис. 4. Схематическая карта распределения смол (а) и асфальтенов (б) в нефтях шельфовых песчаников берриас-готеривских отложений

Fig. 4. Schematic distribution map of resins (a) and asphaltenes (b) in oils from shelf sandstones of the Berriasian-Hauterivian deposits

Специфической особенностью многих залежей нефтей пластов группы А является то, что они расположены в горизонтах, где могли развиваться процессы биодегradации (температуры пластов менее 70 °С) (Борисова, 2019¹; Ермилов и др., 2004). Как известно, под влиянием биодегradации даже неглубокой стадии растёт плотность нефтей, содержание в них асфальто-смолистых веществ.

Выводы

Изучены пространственные закономерности распределения смол и асфальтенов в нефтях основных региональных резервуаров Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. Проведенные исследования показывают, что от центральных районов в северном, северо-восточном и юго-восточном направлениях на-

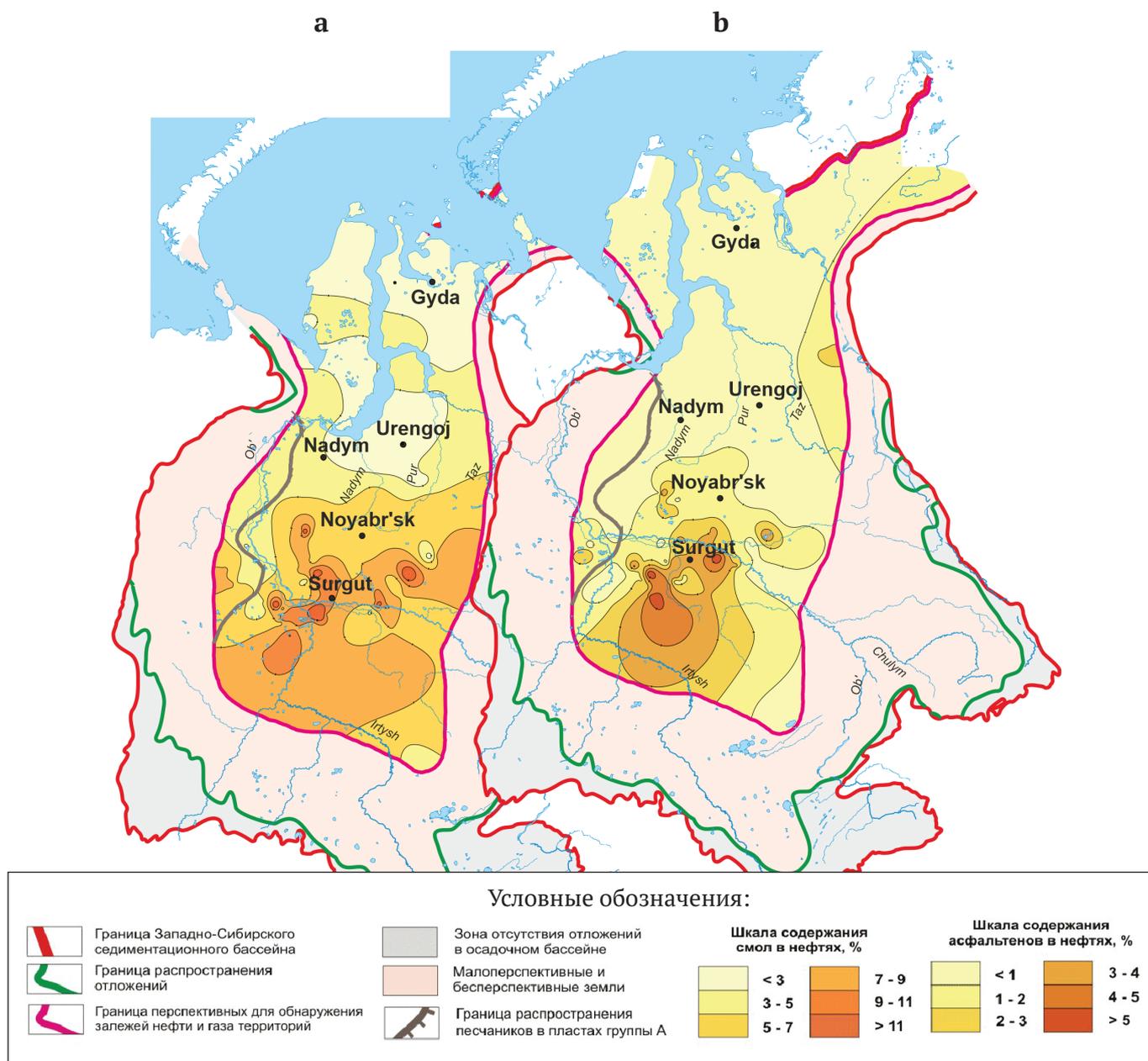


Рис. 5. Схематическая карта распределения смол (а) и асфальтенов (б) в нефтях из готерив-аптских отложений Западной Сибири

Fig. 5. Schematic distribution map of the of resins (a) and asphaltenes (b) in oils from the Hauterivian-Aptian deposits of Western Siberia

блюдается уменьшение содержания в нефтях смол и асфальтенов.

Использование схематических карт для основных региональных резервуаров (нижняя и средняя юры в целом, верхняя юра (горизонты П, Ю₀, Ю₁), неоком, апт-альб-сеноман), включающих для каждого резервуара схемы содержания в нефтях смол и асфальтенов, позволяет выявить районы преимущественной локализации нефтей различных генетических типов, уточнить прогноз качества углеводородных флюидов, а также может служить основой для дифференциации начальных и прогнозных ресурсов нефти при количественной оценке перспектив нефтегазоносности Западной Сибири.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № FWZZ-2022-0011.

Литература

- Борисова Л. С., Косяков Д. В., Красавчиков В. О., Фурсенко Е. А. Региональные закономерности изменения физико-химических свойств нефтей нижнего мела // Геология нефти и газа. 2011. № 5. С. 56–63.
- Borisova L. S., Kosyakov D. V., Krasavchikov V. O., Fursenko E. A. Regional patterns of change in the physical and chemical properties of Lower Cretaceous oils. Geology of oil and gas, 2011, No. 5, pp. 56–63. (in Russian)
- Ермилов О. М., Карогодин Ю. Н., Конторович А. Э., Тер-Саакян Ю. Г., Агалаков С. Е., Беляев С. Ю., Борисова Л. С., Букреева Г. Ф., Буриштейн Л. М., Гордеев В. Н., Дмитрук В. В., Жилина И. В., Конторович В. А., Красавчиков В. О., Супруненко О. И., Чупова И. М., Фурсенко Е. А.



- Особенности геологического строения и разработки уникальных залежей газа Крайнего Севера Западной Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2004. 141 с.
- Ermilov O. M., Karogodin Yu. N., Kontorovich A. E., Ter-Saakyan Yu. G., Agalakov S. E., Belyaev S. Yu., Borisova L. S., Bukreeva G. F., Burshtein L. M., Gordeev V. N., Dmitruk V. V., Zhilina I. V., Kontorovich V. A., Krasavchikov V. O., Suprunenko O. I., Chupova I. M., Fursenko E. A. Features of the geological structure and development of unique gas deposits in the Far North of Western Siberia. Novosibirsk: SB RAS, 2004, 141 p. (in Russian)
- Конторович А. Э. Образование нефти и газа в земной коре // Справочник по геологии нефти и газа. М.: Недра, 1984. С. 451—473.
- Kontorovich A. E. Formation of oil and gas in the earth's crust. Handbook of geology of oil and gas. Moscow: Nedra, 1984, pp. 451—473. (in Russian)
- Конторович А. Э. Очерки теории нафтидогенеза. Новосибирск: СО РАН, 2004. 548 с.
- Kontorovich A. E. Essays on the theory of naftidogenesis. Novosibirsk: SB RAS, 2004, 548 p. (in Russian)
- Конторович В. А., Беляев С. Ю., Конторович А. Э., Красавчиков В. О., Конторович А. А., Супруненко О. И. Тектоническое строение и история развития Западно-Сибирской геосинеклизы в мезозое и кайнозое // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 11—12. С. 1832—1845.
- Kontorovich V. A., Belyaev S. Yu., Kontorovich A. E., Krasavchikov V. O., Kontorovich A. A., Suprunenko O. I. Tectonic structure and history of development of the West Siberian geosyncline in the Mesozoic and Cenozoic. Geology and Geophysics, 2001, V. 42, No. 11—12, pp. 1832—1845. (in Russian)
- Конторович А. Э., Нестеров И. И., Салманов Ф. К., Сурков В. С., Трофимук А. А., Эрвье Ю. Г. Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 679 с.
- Kontorovich A. E., Nesterov I. I., Salmanov F. K., Surkov V. S., Trofimuk A. A., Ervie Yu. G. Geology of oil and gas of Western Siberia. Moscow: Nedra, 1975, 679 p. (in Russian)
- Конторович А. Э., Стасова О. Ф. К геохимии нефтей Западно-Сибирской низменности // Геология и геофизика. 1964. № 2. С. 13—24.
- Kontorovich A. E., Stasova O. F. On the geochemistry of oils of the West Siberian Lowland. Geology and Geophysics, 1964, No. 2, pp. 13—24. (in Russian)
- Конторович А. Э., Стасова О. Ф. Типы нефтей в осадочной оболочке Земли // Геология и геофизика. 1978. № 8. С. 3—13.
- Kontorovich A. E., Stasova O. F. Types of oils in the sedimentary shell of the Earth. Geology and Geophysics, 1978, No. 8, pp. 3—13. (in Russian)
- Конторович А. Э., Бабина Н. М., Богородская Л. И., Винокур Б. Г., Зимин Ю. Г., Колганова М. М., Липницкая Л. Ф., Луговцов А. Д., Мельникова В. М., Парпарова Г. М., Рогозина Е. А., Стасова О. Ф., Трушков П. А., Фомичев А. С. Нефтепроизводящие толщи и условия образования нефти в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. Л.: Недра, 1967. 223 с.
- Kontorovich A. E., Babina N. M., Bogorodskaya L. I., Vinokur B. G., Zimin Yu. G., Kolganova M. M., Lipnitskaya L. F., Lugovtsov A. D., Melnikova V. M., Parparova G. M., Rogozina E. A., Stasova O. F., Trushkov P. A., Fomichev A. S. Oil-producing strata and conditions of oil formation in the Mesozoic deposits of the West Siberian Lowland. Leningrad: Nedra, 1967, 223 p. (in Russian)
- Конторович А. Э., Полякова И. Д., Стасова О. Ф., Трушков П. А., Бабина Н. М., Богородская Л. И., Данилова В. П., Зуева Т. В., Колганова М. М., Липницкая Л. Ф., Мельникова В. М., Фомичев А. С. Органическая геохимия мезозойских нефтегазоносных отложений Сибири. М.: Недра, 1974. 192 с.
- Kontorovich A. E., Polyakova I. D., Stasova O. F., Trushkov P. A., Babina N. M., Bogorodskaya L. I., Danilova V. P., Zueva T. V., Kolganova M. M., Lipnitskaya L. F., Melnikova V. M., Fomichev A. S. Organic geochemistry of Mesozoic oil and gas deposits of Siberia. Moscow: Nedra, 1974, 192 p. (in Russian)
- Конторович А. Э., Конторович В. А., Рыжкова С. В., Шурыгин Б. Н., Вакуленко Л. Г., Гайденбунова Е. А., Данилова В. П., Казаненков В. А., Ким Н. С., Костырева Е. А., Москвин В. И., Ян П. А. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 972—1012.
- Kontorovich A. E., Kontorovich V. A., Ryzhkova S. V., Shurygin B. N., Vakulenko L. G., Gaidenburova E. A., Danilova V. P., Kazanenkov V. A., Kim N. S., Kostyryeva E. A., Moskvina V. I., Yan P. A. Paleogeography of the West Siberian sedimentary basin in the Jurassic period. Geology and Geophysics, 2013, V. 54, No. 8, pp. 972—1012. (in Russian)
- Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 2. Западно-Сибирский бассейн / А. Э. Конторович, В. С. Сурков, А. А. Трофимук, В. Е. Андрусевич, С. А. Афанасьев, Е. А. Гайдебурова, В. В. Гребенюк, В. П. Данилова, Н. П. Запывалов, Ю. Н. Каргодин, В. А. Каштанов, В. А. Конторович, В. И. Краснов, М. А. Левчук, В. Н. Меленевский, В. И. Москвин, Л. В. Смирнов, А. Н. Фомин, А. С. Фомичев, Г. С. Фрадкин (под ред. А. Э. Конторовича). Новосибирск, 1994. 201 с.
- Oil and gas basins and regions of Siberia. Vol. 2. West Siberian Basin. A. E. Kontorovich, V. S. Surkov, A. A. Trofimuk, V. E. Andrushevich, S. A. Afanasyev, E. A. Gaideburova, V. V. Grebenyuk, V. P. Danilova, N. P. Zapivalov, Yu. N. Kagodin, V. A. Kashtanov, V. A. Kontorovich, V. I. Krasnov, M. A. Levchuk, V. N. Melenevsky, V. I. Moskvina, L. V. Smirnov, A. N. Fomin, A. S. Fomichev, G. S. Fradkin (edited by A. E. Kontorovich). Novosibirsk, 1994, 201 p. (in Russian)
- Фомин А. Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. Новосибирск, 2011. 331 с.
- Fomin A. N. Catagenesis of organic matter and oil and gas potential of Mesozoic and Paleozoic deposits of the West Siberian megabasin. Novosibirsk, 2011, 331 p. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received 16.04.2025

Процессы дегазации на дне Атлантического океана

И. Г. Добрецова

АО «Полярная морская геологоразведочная экспедиция», Санкт-Петербург, Россия

dobro54@mail.ru

В статье представлен обзор процессов дегазации и их следов по результатам многолетних наблюдений и аналитических исследований автора во время работы на научно-исследовательском судне «Профессор Логачёв». Полярная морская геологоразведочная экспедиция на данном судне проводит исследования, включающие и видеонаблюдения в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта (САХ). С 2012 года работы проводятся в пределах Российского разведочного района (РРР), расположенного на Срединном хребте в координатах от 20° до 13° с. ш. За это время было отснято несколько тысяч погонных километров видео дна. Автор данного обзора принимала участие в восемнадцати таких рейсах, поэтому имела возможность непосредственно наблюдать разнообразие признаков процессов дегазации на океанском дне. Они проявлены в виде небольших (редко превышающих первые метры в диаметре) каналов в осадках и необычных узоров на осадках, а также в виде трещин, разломов и каналов в подстилающих породах. Кроме того, все гидротермальные постройки, включая трубы активных и неактивных курильщиков, также являются результатом процессов дегазации. В пределах молодых вулканических структур как кальдерного, так и щелевого типа были подняты спёкшиеся осадки, насыщенные пеплом и свежим вулканическим стеклом, размер которого редко превышает 1 см. Подобные породы отнесены к туффитам, и их образование также связано с процессами дегазации.

Ключевые слова: *Срединно-Атлантический хребет, дегазация, курильщики, каналы, ячейки Бенара*

Degassing processes at the bottom of the Atlantic ocean

I. G. Dobretsova

Polar Marine Geological Exploration Expedition, St. Petersburg, Russia

The article presents an overview of degassing processes and their traces based on the results of long-term observations and analytical studies by the author while working on the research vessel "Professor Logachev". On it, the Polar Marine Geological Exploration Expedition conducts research, including video observations in the axial zone of the Mid-Atlantic Ridge (MAR). Since 2012, work has been conducted within the Russian Exploration Area (REA), located on the Mid-Atlantic Ridge at coordinates from 20° to 13° N. During this time, several thousand linear kilometers of bottom video were filmed. The author of this review took part in eighteen such cruises, so she had the chance to directly observe various signs of degassing processes on the ocean floor. They are manifested in the form of small (rarely exceeding the first meters in diameter) channels in sediments and unusual patterns on sediments, as well as cracks, faults and channels in the underlying rocks. In addition, all hydrothermal structures, including chimneys of active and inactive smokers, are also the result of degassing processes. Within the young volcanic structures, both caldera and slot types, sintered sediments were raised, saturated with ash and fresh volcanic glass (the size of glass fragments rarely exceeds 1 cm). Such rocks are classified as tuffites, and its formation is also related to the degassing processes.

Keywords: *Mid-Atlantic Ridge, degassing, smokers, channels, Benard cells*

Введение

Процессы дегазации оставляют видимые следы на поверхности Земли и доступны наблюдениям. Наиболее яркими их проявлениями являются: извержения вулканов, грязевой вулканизм, провалы грунта, многочисленные воронки от выбросов газов, застывшие пузыри во льду Байкала, образования выбеленных кругов (в результате уничтожения гумуса) с последующим заболачиванием и образованием круглых озёр на Русской равнине, карстовые полости в известняках (есть даже места, где огонь полыхает веками в результате дегазации) и другие признаки. Исследования по дегазации Земли стали приобретать системный характер в геологии с середины XX века. Понятие «газовое дыхание Земли» впервые было введено в научный лексикон ещё в 1912 г. академиком В. И. Вернадским (Вернадский, 1960).

Одним из первых, кто начал говорить о дегазации, называя её «дыханием Земли», ещё в XVII веке был немецкий учёный А. Кирхер (Йогансон, 2016; Кирхер, интернет-ресурс). Явления дегазации можно наблюдать на поверхности Земли. А вот развитие этих процессов на дне океанов остаются скрытыми от наблюдений.

Отечественные исследования в осевой зоне САХ начались с 1985 года, при этом ведущая роль в этих работах принадлежит геологическим организациям Министерства геологии СССР, в первую очередь ФГУНПП «ПМГРЭ» и ФГУП «ВНИИОкеанология». В ходе многочисленных рейсов отработывалась методика региональных и поисковых исследований, включающая геолого-геофизические, гидрофизические работы, видеонаблюдение и геологическое опробование.

Работы характеризуются стадийностью и проводились в несколько этапов: региональные рекогнос-



цировочные масштаба 1:1 000 000 — 1:500 000, региональные детализационные масштаба 1:200 000 — 1:100 000, поисковые масштаба 1:50 000 — 1:10 000.

19 июля 2011 года на 17-й сессии Международного органа по морскому дну (МОМД) была принята Заявка Российской Федерации на поиски и разработку полиметаллических сульфидов в международном районе Мирового океана — приэкваториальной части Срединно-Атлантического хребта (САХ). 29.10.2012 года был заключён Контракт на разведку полиметаллических сульфидов между МОМД и Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Заявочный район, названный Российским разведочным районом (РРР), расположен в центральной части Атлантического океана в осевой зоне Срединно-Атлантического хребта в интервале широт $12^{\circ}48'36''$ — $20^{\circ}54'36''$ с. ш. и включает 100 блоков размером приблизительно 10×10 км площадью не больше 100 кв. км. Заявочные блоки скомпонованы в 7 участков, в состав которых входит от 9 до 36 блоков. Участки расположены в пределах прямоугольного района площадью $216\,622$ км² (рис. 1, 2).

Материалы, объекты и методы исследования

Основой изучения процессов дегазации на дне Атлантического океана явились видеонаблюдения с использованием фототелевизионного аппарата TVS Sperre производства компании SPERRE (Норвегия). Плановая привязка фототелевизионного аппарата при проведении съёмки осуществлялась с помощью гидроакустической системы подводной навигации HiPAP 101 производства компании Kongsberg Simrad (Норвегия).

Наблюдения проводились автором во время рейсов НИС «Профессор Логачёв» и ОИС «Янтарь» в Атлантическом океане на глубинах 2—6 км с 2003 по 2024 г., в том числе с 2012 г. в Российском разведочном районе. Этот район находится на значительном удалении от берегов, куда не доходит снос осадков с континентов.

Помимо видеонаблюдений дна были использованы данные гидрофизического зондирования с измерением гидрофизических и гидрохимических параметров: температуры, электропроводности, плотности (солености), мутности и содержания растворенного метана, которые проводились гидрофизическим зондом SBE 911 plus.

По опубликованным данным, на гидротермальных полях САХ, таких как Логачёв, Рейнбоу, ТАГ, Лост Сити, замеры состава газов во флюидах, из которых отлагаются чёрные и белые курильщики, показали содержание в них метана, сероводорода, водорода, углекислого и угарного газа (Акимцев и др., 1991; Арсанова, 2012, 2020; Богданов и др., 2006; Лавров, 1979; Леин и др., 2000; Леин, Сагалевиц, 2000; Лисицын и др., 1990). Но в ПМГРЭ имеется датчик только для измерения метана.

Батиметрическая съёмка рельефа дна с разрешением в 1 м проводилась придонным многолучевым эхолотом с целью получения данных о микрорельефе участка работ и выявления отдельных сульфидных построек.

Вещество со дна поднималось с помощью скальной драги (для подъёма донно-каменного материала), коробчатого пробоотборника (для подъёма осадков) и телевизионного грейфера (для подъёма гидротермальных образований).

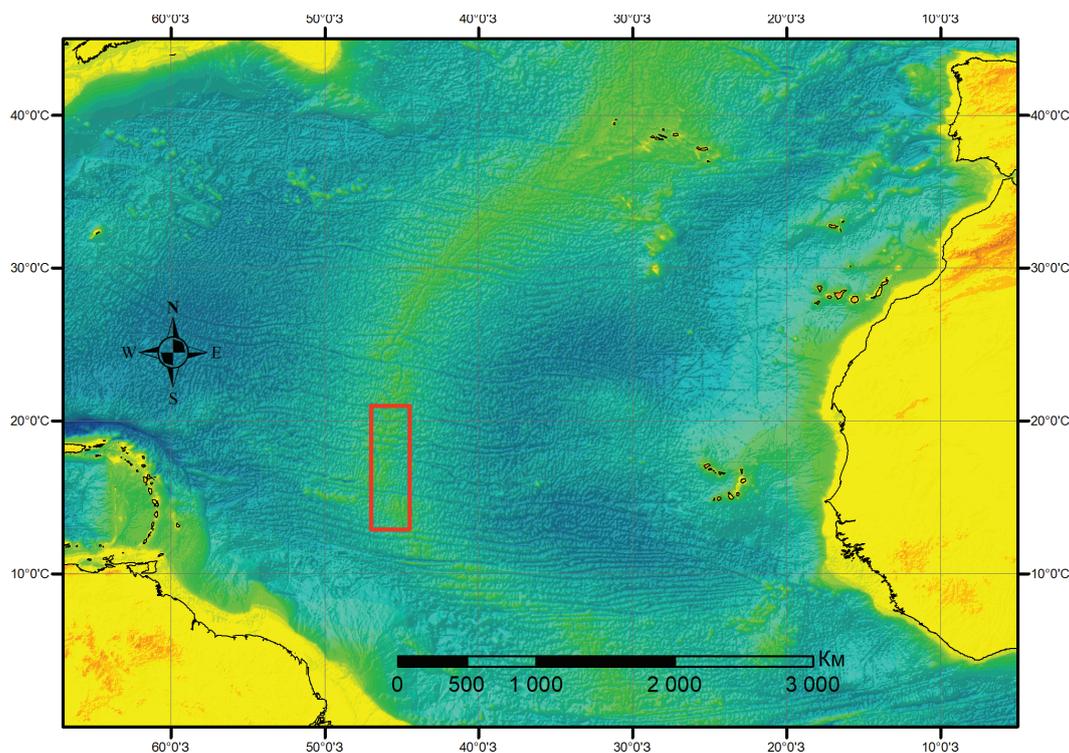


Рис. 1. Российский разведочный район (красный прямоугольник) на Срединном Атлантическом хребте (изображение взято с сайта www.gebco.net)

Fig. 1. Russian Exploration Area (red rectangle) on the Mid-Atlantic Ridge (image from www.gebco.net)

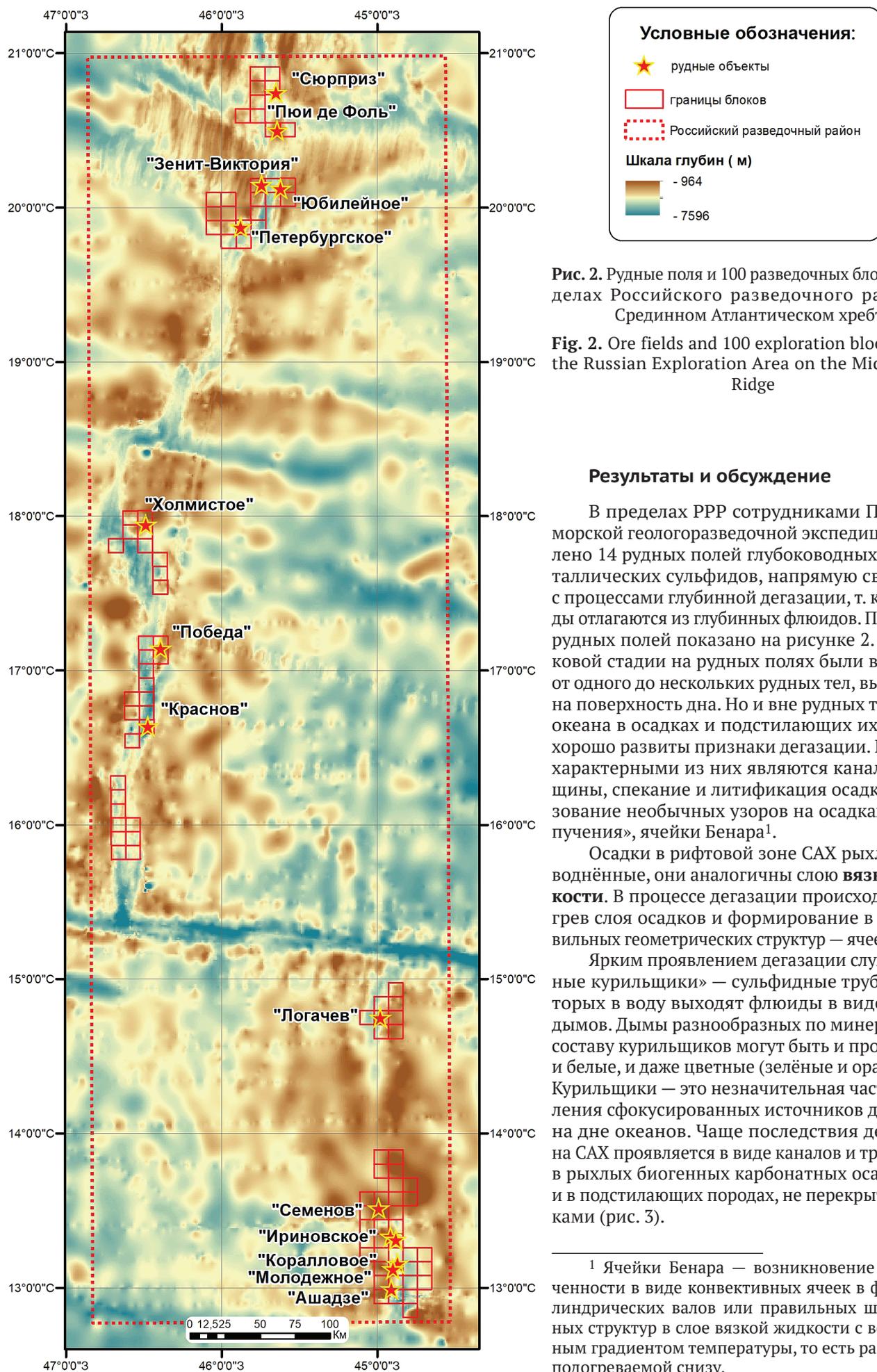


Рис. 2. Рудные поля и 100 разведочных блоков в пределах Российского разведочного района на Срединном Атлантическом хребте

Fig. 2. Ore fields and 100 exploration blocks within the Russian Exploration Area on the Mid-Atlantic Ridge

Результаты и обсуждение

В пределах РРР сотрудниками Полярной морской геологоразведочной экспедиции выявлено 14 рудных полей глубоководных полиметаллических сульфидов, напрямую связанных с процессами глубинной дегазации, т. к. сульфиды отлагаются из глубинных флюидов. Положение рудных полей показано на рисунке 2. На поисковой стадии на рудных полях были выявлены от одного до нескольких рудных тел, выходящих на поверхность дна. Но и вне рудных тел на дне океана в осадках и подстилающих их породах хорошо развиты признаки дегазации. Наиболее характерными из них являются каналы и трещины, спекание и литификация осадков, образование необычных узоров на осадках, «бугры пучения», ячейки Бенара¹.

Осадки в рифтовой зоне САХ рыхлые и обводнённые, они аналогичны слою **вязкой жидкости**. В процессе дегазации происходит подогрев слоя осадков и формирование в них правильных геометрических структур — ячеек Бенара.

Ярким проявлением дегазации служат «чёрные курильщики» — сульфидные трубы, из которых в воду выходят флюиды в виде чёрных дымов. Дымы разнообразных по минеральному составу курильщиков могут быть и прозрачные, и белые, и даже цветные (зелёные и оранжевые). Курильщики — это незначительная часть проявления сфокусированных источников дегазации на дне океанов. Чаше последствия дегазации на САХ проявляется в виде каналов и трещин как в рыхлых биогенных карбонатных осадках, так и в подстилающих породах, не перекрытых осадками (рис. 3).

¹ Ячейки Бенара — возникновение упорядоченности в виде конвективных ячеек в форме цилиндрических валов или правильных шестигранных структур в слое вязкой жидкости с вертикальным градиентом температуры, то есть равномерно подогреваемой снизу.

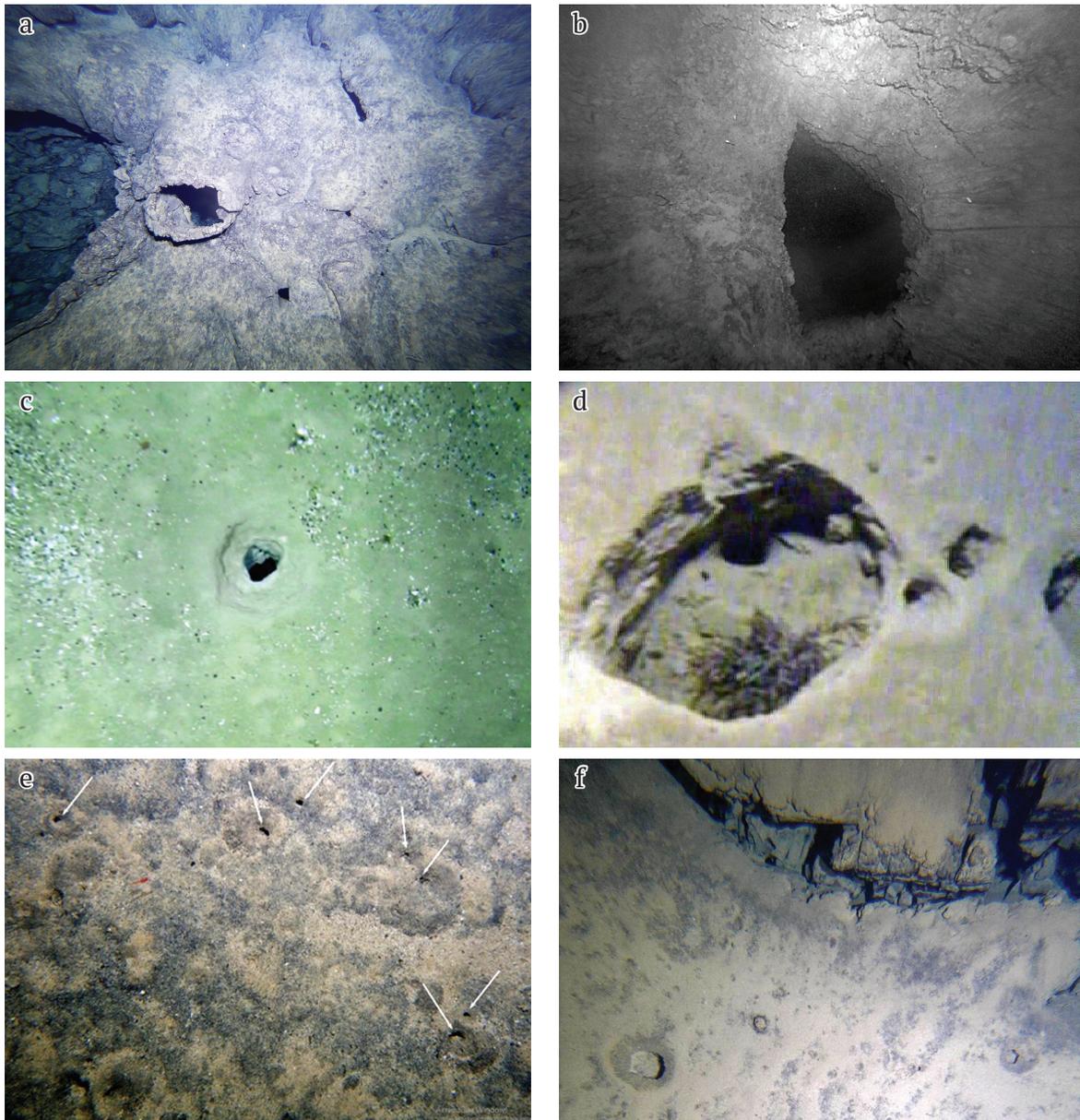


Рис. 3. Каналы и трещины дегазации (подводная съёмка): а — в базальтовом покрове, незначительно присыпанном осадками. Диаметр канала с приподнятыми стенками около 50 см; б — канал дегазации размером около 3 м в базальтовом покрове; с — канал дегазации (диаметром около 15 см) в осадках. Стенки канала несколько приподняты над дном и сложены литифицированными биогенными осадками; д — канал дегазации в осадках. Осадки вокруг канала растворились, образуя отрицательную структуру типа «блюдца» (диаметром около 50 см). Рядом видны воронкообразные каналы; е — каналы дегазации размером первые см (показаны стрелками) в осадках на базальтовом покрове. Вокруг каналов видны круглые ореолы изменённых (потемневших) осадков; ф — трещина в базальтовом покрове, перекрытом рыхлыми биогенными карбонатными осадками. Осадки вокруг трещины литифицированы и создают ореол. Рядом с трещиной в осадках также наблюдаются изометричные каналы диаметром около 25 см с характерными ореолами тёмного цвета. а, б, е, ф — кальдера вулкана Пюи де Фоль, с — рудное поле Коралловое, д — восточный борт рифовой долины 17° с. ш., 46° з. д.

Fig. 3. Degassing channels and cracks (underwater photography): а — in basalt cover, slightly covered with sediments. The diameter of the channel with raised walls is about 50 cm; б — degassing channel about 3 m in size, in basalt cover; с — degassing channel (about 15 cm in diameter) in sediments. The walls of the channel are slightly raised above the bottom and are composed of lithified biogenic sediments; д — degassing channel in sediments. Sediments around the channel are dissolved, forming a negative structure of the «saucer» type (about 50 cm in diameter). Funnel-shaped channels are visible nearby; е — degassing channels, a few cm in size (shown by arrows), in sediments on a basalt cover. Round halos of altered (darkened) sediments are visible around the channels; ф — a crack in a basalt cover overlapped loose biogenic carbonate sediments. The sediments around the crack are lithified and create a halo. Isometric channels about 25 cm in diameter with characteristic dark halos are also observed in the sediments near the crack. а, б, е, а — Puy de Fol volcano caldera, с — Korallovye ore field, д — Eastern side of the rift valley 17° N, 46° W

Каналы неоднородны по размерам, они могут быть от первых сантиметров до первых метров в диаметре. В осадках стенки каналов могут быть литифицированы и приподняты на несколько сантиметров над дном, а также вокруг канала может образоваться структура растворения, своим отрицательным рельефом напоминающая «блюдец». В условиях качки, когда видеоаппаратура отстаёт от поверхности дна от 1 до 5 м, оценить точный размер диаметра каналов при видеонаблюдении дна не представляется возможным. Поэтому все размеры даны в приблизительном масштабе. На рисунке 3, с показан канал в осадках, в 30 м от которого в придонном слое воды гидрофизическим зондом была зафиксирована аномалия метана, в 6.5 раза превышающая фоновые показатели. Как уже говорилось, трещины в базальтах, в том числе и перекрытых рыхлыми биогенными карбонатными осадками, также связаны с процессами дегазации. При этом газы, выходящие из трещин, спекали осадки, лежащие на базальтах, и создавали ореолы изменённых осадков вокруг трещин.

Одним из необычных проявлений дегазации на дне являются ячейки Бенара, которые в пределах РРР не были известны ранее, их наблюдали только в Тихом океане. На поверхности рыхлых обводнённых биогенных осадков появляются пятна размером до 10–15 см, состоящие из геометрически правильных ячеек. Причём рядом могут находиться и небольшие отверстия-каналы, и ячейки Бенара (рис. 4).

Использование придонного многолучевого эхолота позволило получать рельеф дна с разрешением в 1 метр. Таким образом, на рудных полях были выявлены холмы диаметром в основании до 150 м, высотой до 40 м. При заверке видеонаблюдениями таких холмов обнаружено, что они сложены раздробленными базальтами с литифицированными осадками на поверхности обломков. На этих литифицированных осадках также наблюдались ячейки Бенара (рис. 4, d). Кроме того, на рудном поле Юбилейное, на вершине одного такого холма зафиксированы активные трубы чёрных курильщиков.

Появление таких холмов на горизонтальных лавовых покровах, не нарушенных тектоникой, отражает довольно мощные каналы (потоки) дегазации, взломавшие лавовый покров и сформировавшие своеобразные купола — по типу «бугров пучения» (рис. 5). Размеры таких куполов варьируют от десятков сантиметров до 150 м в основании. Аналогичные структуры известны и в районе выхода ультраосновных пород на поверхность дна. В таком случае купола сложены обломками ультраосновных пород с литифицированными осадками (рис. 5, a).

Весьма необычным и интересным проявлением дегазации на дне служат узоры, в том числе и цветные, на поверхности осадков. В результате пропитки осадков флюидами изменяется их вещественный состав и структура. Эти узоры формируются на значительных площадях до сотен метров, но бывают и очень локаль-

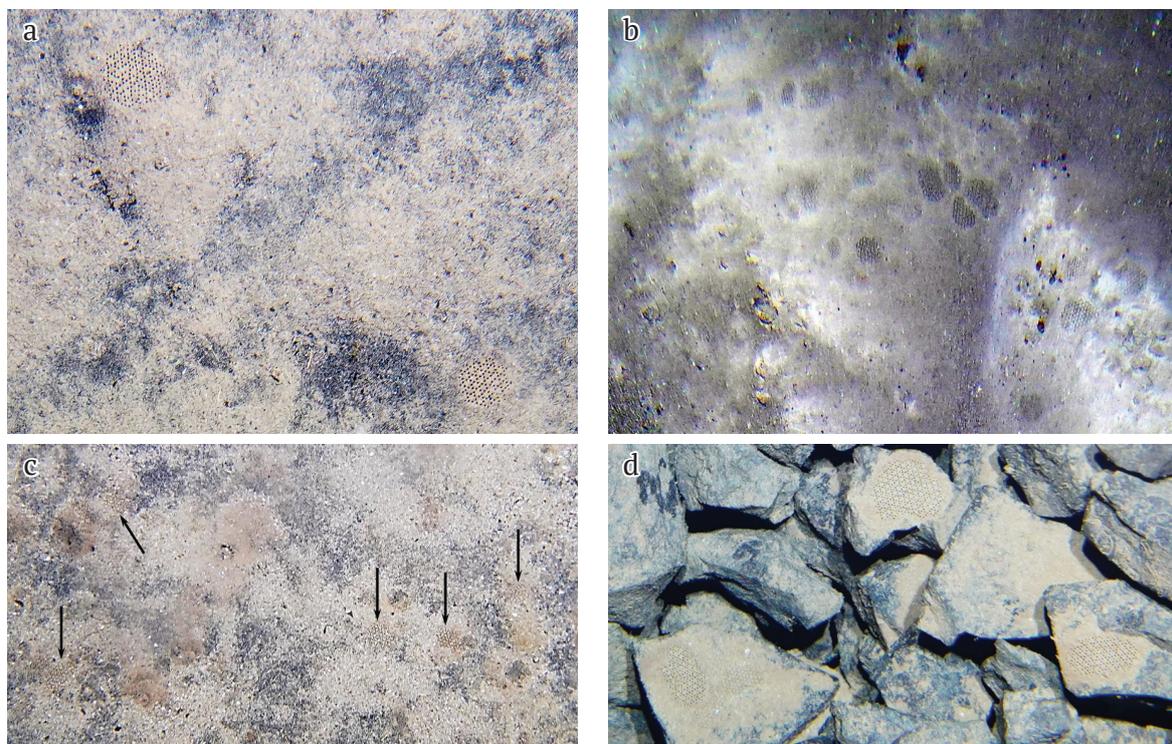


Рис. 4. Ячейки Бенара (подводная съёмка): а — на поверхности фоновых осадков; б — на осадках, пропитанных флюидами с тальком и силикогелем; в — ячейки Бенара (показаны стрелками) и каналы размером первые см с ореолами осадков, окрашенных в коричневый цвет, на поверхности фоновых осадков; д — в литифицированных осадках, на поверхности раздробленных базальтов. а, в — Кальдера вулкана Пюи де Фоль; б, д — рудное поле Зенит-Виктория

Fig. 4. Benard cells (underwater photography): а — on the surface of background sediments; б — on sediments impregnated with fluids with talc and silica gel; в — Benard cells (shown by arrows) and channels a few cm in size, with halos of sediments colored brown, on the surface of background sediments; д — in lithified sediments, on the surface of crushed basalts. а, в — Puy de Fol volcano caldera; б, д — Zenith-Victoria ore field

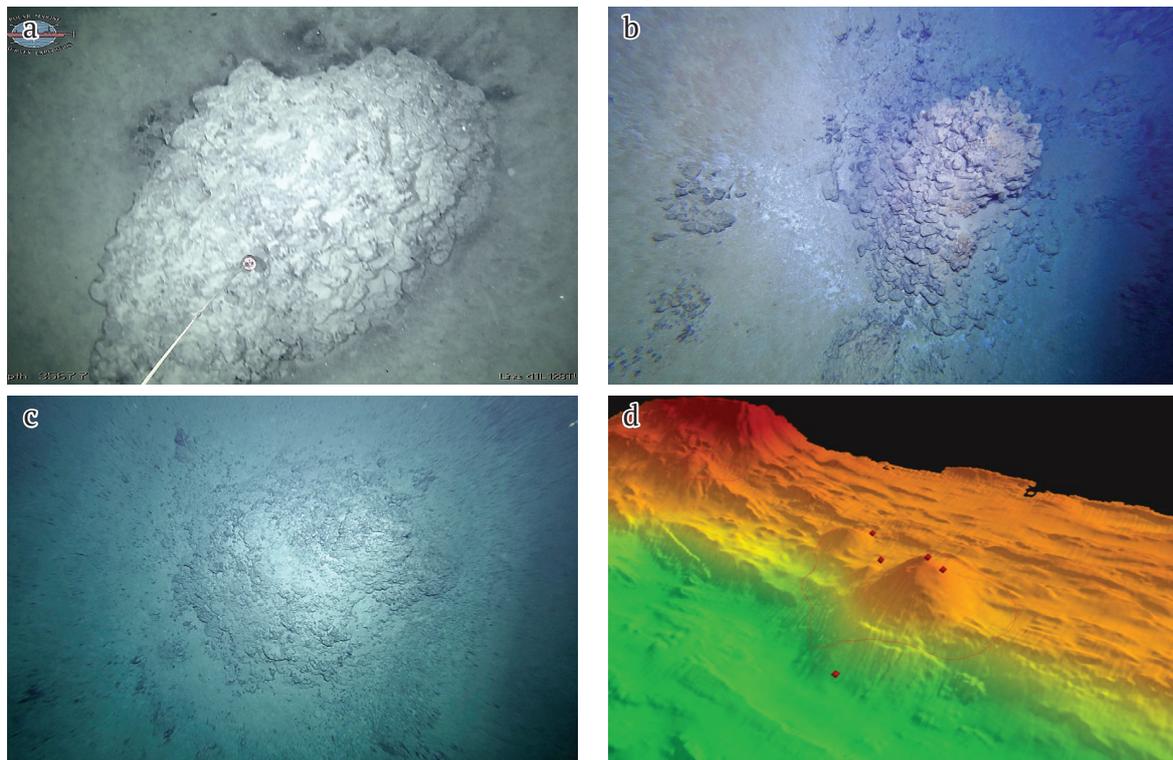


Рис. 5. «Бугры пучения» (подводная съёмка): а — купол на ультраосновных породах, размером 2 м (в основании по длинной стороне), сложенный раздробленными ультраосновными породами с литифицированными осадками. Вокруг купола на осадках заметен ореол, образованный в процессе дегазации. Рудное поле Молодёжное; б — купол, сложенный раздробленными базальтами с литифицированными осадками на горизонтальном лавовом покрове, перекрытом осадками. Диаметр в основании купола около 2 м. Рудное поле Zenit-Victoria; в — купол, сложенный раздробленными базальтами с литифицированными осадками на горизонтальном лавовом покрове, перекрытом осадками. Диаметр в основании купола около 2 м. Рудное поле Сюрприз; д — бугры пучения, сложенные раздробленными базальтами (обведены красным контуром). Красными квадратиками показаны точки опробования с помощью телегрейфера. На вершине самого большого бугра выявлены активные трубы чёрных курильщиков. Диаметр в основании самого большого купола около 150 м. 3D-модель рудного поля Юбилейное, построенная на основании съёмки придонным многолучевым эхолотом

Fig. 5. «Frost heave mounds» (underwater photography): a — a dome on ultramafic rocks, 2 m in size (at the base along the long side), composed of crushed ultramafic rocks with lithified sediments. A halo formed during degassing is visible on the sediments around the dome. Molodezhnoye ore field; b — a dome composed of crushed basalts with lithified sediments on a horizontal lava cover overlapped by sediments. The diameter at the base of the dome is about 2 m. Zenit-Victoria ore field; c — a dome composed of crushed basalts with lithified sediments on a horizontal lava cover overlapped by sediments. The diameter at the base of the dome is about 2 m. Surpriz ore field; d — frost heave mounds, composed of crushed basalts (circled in red). Red squares show sampling points using a telescopic grab. Active black smoker pipes were found at the top of the largest mound. The diameter at the base of the largest dome is about 150 m. 3D model of the Yubileynoye ore field, constructed based on a bottom multibeam echo sounder survey

ные, в то время как для обычных фоновых осадков узоры нехарактерны (рис. 6).

Осадки, приобретающие в процессе дегазации не только цвет, но и крупные ячеистые узоры, по всей видимости, являются начальной стадией формирования ячеек Бенара другого, более крупного масштаба. Об этом свидетельствует форма ячеек, схожая с ячейками, образованными при лабораторном эксперименте, когда подогревается машинное масло с порошком алюминия (рис. 7).

При процессах дегазации осадки могут спекаться, происходит их литификация. Поэтому часто вместе с молодыми базальтами, имеющими «горячие» контакты с осадками (Добрецова, Оскина, 2015), на борту НИС «Профессор Логачёв» поднимались литифицированные осадки, на которых в отдельных случаях можно наблюдать ячейки Бенара (рис. 8).

Ещё одним характерным признаком процессов дегазации на дне океана служат скопления специфической фауны, например двустворчатых моллюсков, и/или появление бактериальных матов. В частности, двустворчатые моллюски — калиптогены — поселяются в местах высачиваний холодных метановых сипов среди осадков (рис. 9).

В кальдере вулкана Пюи де Фоль визуально при фототелепрофилеировании дна автором был зафиксирован процесс дегазации — истечение белого «дыма» в виде небольшого фонтанчика (предположительно силикагеля). Формирование трубы белого курильщика не наблюдалось, но возле выхода белого «дыма» отмечено скопление двустворчатых моллюсков на базальтах и бактериальные маты белого цвета (рис. 10).

В кальдере вулкана Пюи де Фоль неоднократно поднимались образцы глубоководных сульфидов с ещё

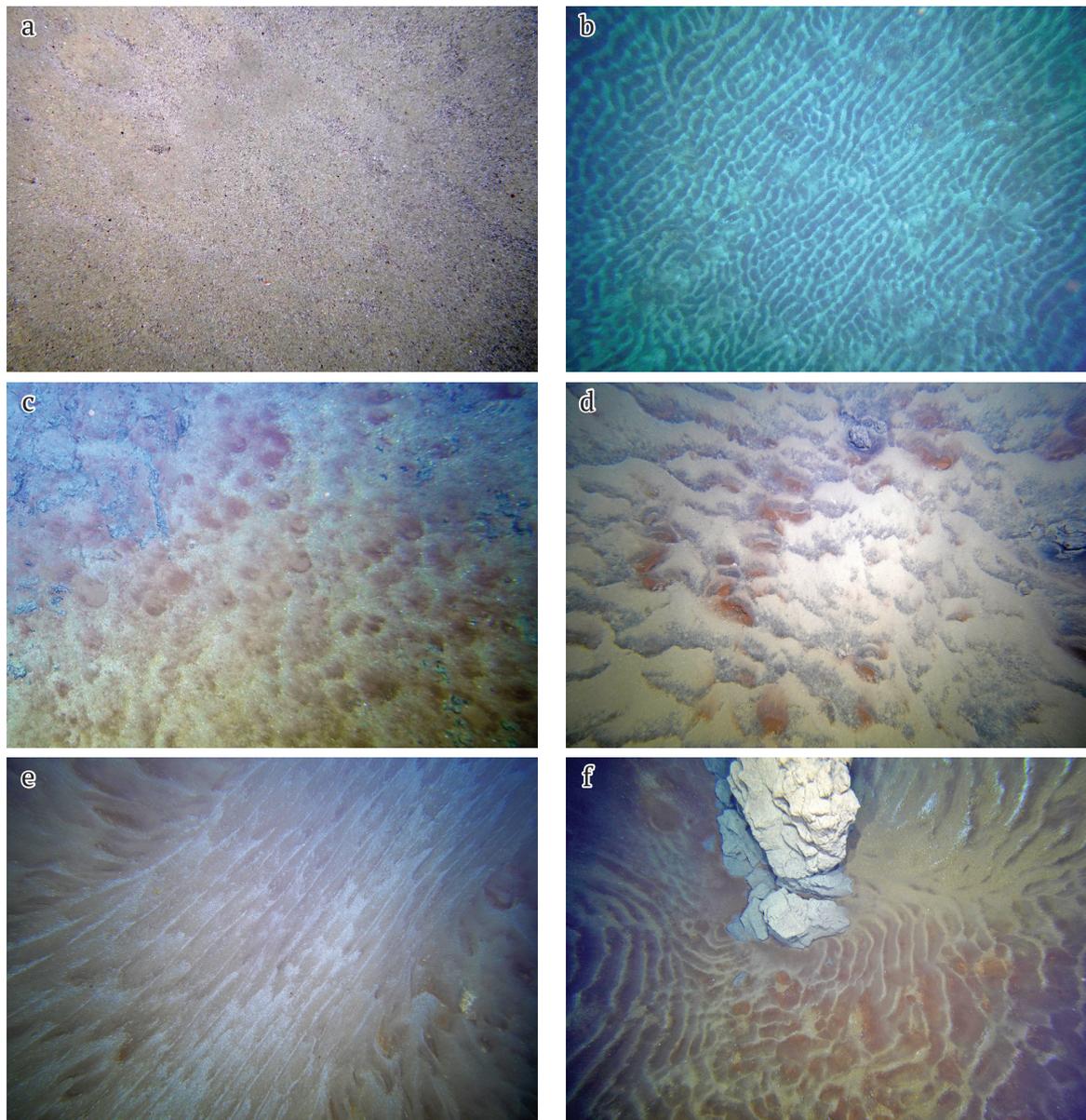


Рис. 6. Осадки дна Атлантики (подводная съёмка): а — фоновые биогенные карбонатные рыхлые осадки на базальтовом покрове; б — ячеистые цветные узоры на осадках. Рудное поле Юбилейное; в — круглые рыже-коричневые пятна металлоносных осадков, отражающие каналы поступления флюидов на поверхность дна. Рудное поле Зенит-Виктория; д — рыже-коричневые пятна металлоносных осадков, отражающие каналы поступления флюидов на поверхность дна. Фоновые неокрашенные осадки приобрели объём, подчеркнутый структурой ряби. Кальдера вулкана Пюи де Фоль; е — разноориентированные следы ряби и развитие гидроксидов железа по биогенным карбонатным осадкам в процессе дегазации. Рудное поле Зенит-Виктория; ф — узоры на осадках, созданные в процессе дегазации, вокруг выступающего на ровном месте базальта. Осадки пропитаны гидроксидами железа. Рудное поле Юбилейное

Fig. 6. Atlantic Ocean floor sediments (underwater photography): а — background biogenic carbonate loose sediments on basalt cover; б — cellular color patterns on sediments. Yubileynoye ore field; в — round reddish-brown spots of metalliferous sediments reflecting channels of fluid supply to the bottom surface. Zenit-Victoria ore field; д — reddish-brown spots of metalliferous sediments reflecting channels of fluid supply to the bottom surface. Background, uncolored sediments acquired volume, emphasized by the ripple structure. Puy de Fol volcano caldera; е — differently oriented ripple marks and development of iron hydroxides on biogenic carbonate sediments during degassing. Zenit-Victoria ore field; ф — sediment patterns created by degassing around a basalt protruding from a flat area. The sediments are saturated with iron hydroxides. Yubileynoye ore field

не отвердевшим силикагелем. В процессе сушки силикагель превращался в белый порошок. При исследовании под электронным микроскопом такого порошка было выявлено, что он имеет бактериальную структуру и состав, характерный для опала. Сами бактериальные маты белого цвета со дна не поднимались, но можно предположить, что по составу они отвечают силикагелю.

Образование туффитов на глубинах от 2 до 4 км также связано с процессами дегазации. При этом есть классическое развитие туффитов, когда газонасыщенная лава выходит на поверхность дна в результате взрыва и тут же горячие обрывки лавы падают в рыхлые биогенные карбонатные осадки, спекают их и насыщают свежими стёклами (часто сложнзакрученной формы), фрагментами стекловатых базальтов и пепло-

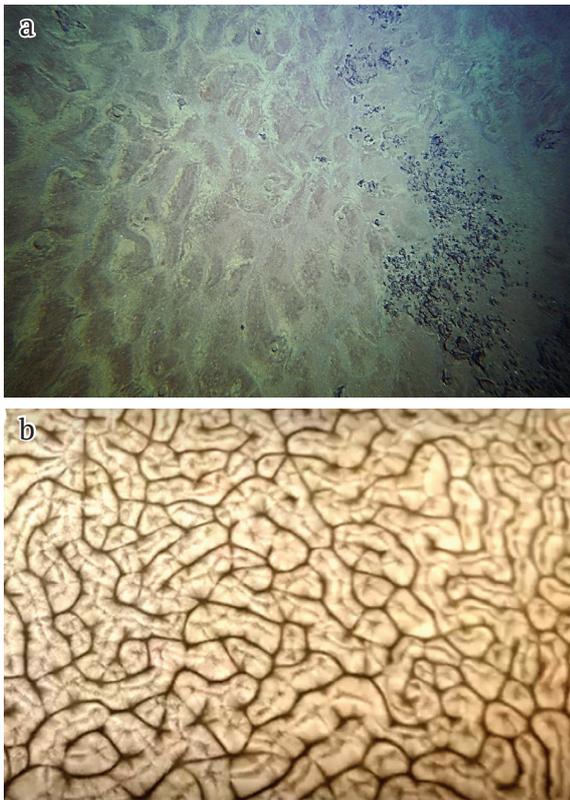


Рис. 7. Цветные узоры на осадках по типу начальной стадии образования ячеек Бенара. Рудное поле Зенит-Виктория (подводная съёмка) — а; начальная стадия образования ячеек Бенара, полученных в лабораторном эксперименте при подогреве машинного масла с порошком алюминия (фрагмент учебного видео — yandex.ru/video/preview/1475414280369686583) — б

Fig. 7. Color patterns on sediments by the type of the initial stage of formation of Benard cells. Zenit-Victoria ore field (underwater photography) — a; Initial stage of formation of Benard cells obtained in a laboratory experiment by heating machine oil with aluminum powder (fragment of the educational video — yandex.ru/video/preview/1475414280369686583) — b



Рис. 8. Литифицированные, частично ожезённые осадки, поднятые драгой вместе с базальтами. На одном из литифицированных осадков видны ячейки Бенара (показано стрелкой). Западный борт рифтовой долины. Зона разлома 19°47' САХ

Fig. 8. Lithified, partly ferruginous sediments raised by a dredge together with basalts. Benard cells are visible on one of the lithified sediments (shown by an arrow). Western edge of the rift valley. Fault zone 19°47' MAR

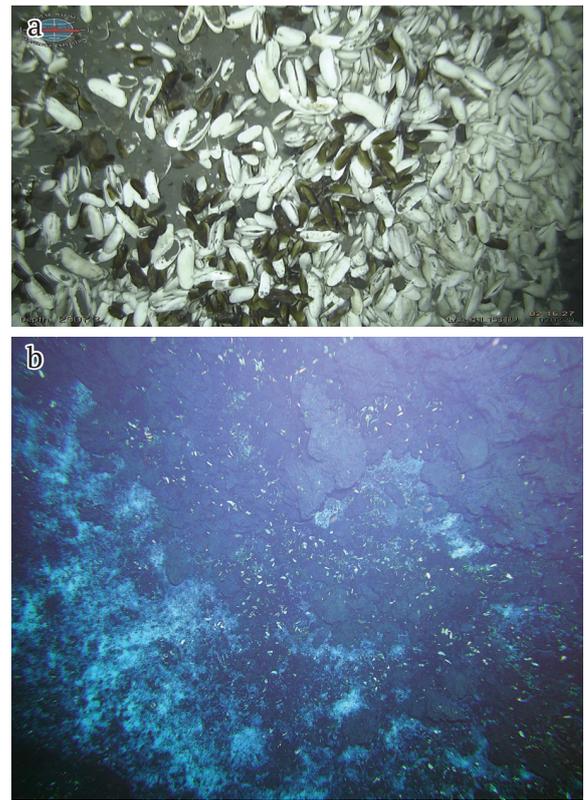


Рис. 9. Признаки дегазации (подводная съёмка): а — скопление двустворчатых моллюсков, в том числе и калиптоген (белые), на осадках. Рудное поле Коралловое; б — белый бактериальный мат (предположительно силикагель) и скопление двустворчатых моллюсков среди развала сульфидных руд. Кальдера вулкана Пюи де Фоль

Fig. 9. Evidence of degassing (underwater photography): a — accumulation of bivalves, including calyptogen (white), on sediments. Korallovoe ore field; b — white bacterial mat (presumably silica gel) and accumulation of bivalves among sulfide ore debris. Puy de Fol volcano caldera



Рис. 10. Белый «дым» и скопление двустворчатых моллюсков (показано стрелкой) на раздробленных базальтах в кальдере вулкана Пюи де Фоль. Подводная съёмка

Fig. 10. White “smoke” and a cluster of bivalves (arrow) on crushed basalts in the caldera of the Puy de Fol volcano. Underwater photography

выми частицами. Но есть и другой способ, который повсеместно наблюдался в кальдере вулкана Пюи де Фоль и реже проявлен на других рудных полях. На базальтовом горизонтально залегающем покрове, покрытом рыхлыми биогенными карбонатными осадками, образуются многочисленные бугорки размером, редко превышающим 1 метр в основании и возвышающиеся на десятки сантиметров над дном. Они образованы

спёкшимися осадками в результате пропитки их вулканическими газами, насыщенными пепловыми частицами и частично и/или полностью замещёнными железомарганцевыми минералами. Фактически каждый такой бугорок образовался как бугор пучения в осадках в процессе дегазации при вертикальном подъёме газовых струй (рис. 11). Глубинные газы могут выходить в воду через осадочный слой, не только

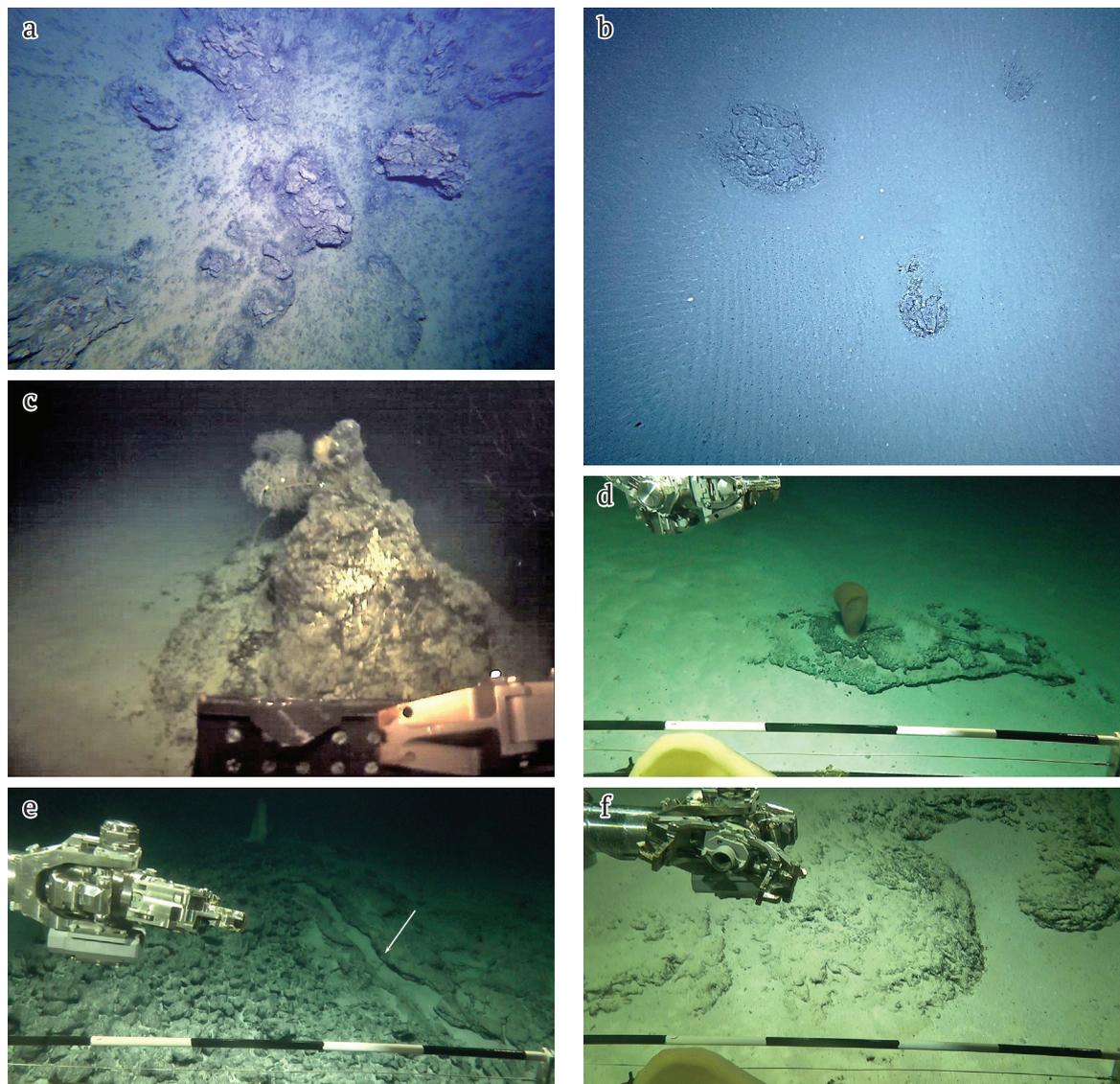


Рис. 11. Туффиты (подводная съёмка): а — горизонтальный лавовый покров, присыпанный осадками с многочисленными бугорками туффитов (размером менее 1 м в высоту) на поверхности дна; б — осадки с разноориентированными следами ряби и бугорками туффитов, не превышающими 1 м в основании; в — туффитовый конус высотой около 1 м на осадках, перекрывающих базальтовое ложе, образованный в результате дегазации. На поверхности туффита развита многочисленная фауна; д — островок спёкшихся осадков (1.5 м по длинной стороне) — литифицированных, насыщенных пепловыми частицами, с поселившейся на них кремневой губкой; е — осадки, спёкшиеся в процессе дегазации вдоль трещины (показана стрелкой) в подстилающих базальтах (мощность трещины — 30 см); ф — граница литифицированных, пропитанных газом, насыщенных пепловыми частичками осадков и обычных фоновых осадков. а — Кальдера вулкана Пюи де Фоль; б — Рудное поле Юбилейное; в—ф — Восточный борт рифтовой долины, подводная гора 17°09'

Fig. 11. Tuffites (underwater photography). a — horizontal lava sheet covered with sediments with numerous tuffite mounds (less than 1 m high) on the bottom surface; b — sediments with differently oriented ripple marks and tuffite mounds not exceeding 1 m at the base; c — tuffite cone about 1 m high on sediments overlapping the basalt bed, formed as a result of degassing. Numerous fauna is developed on the tuffite surface; d — islet of sintered sediments (1.5 m along the long side) — lithified, saturated with ash particles, with a silica sponge settled on them; e — sediments fused during degassing along a crack in the underlying basalts (crack thickness is 30 cm. The crack is shown by the arrow); f — boundary between lithified, gas-saturated, ash-rich sediments and normal background sediments. a — Puy de Fol volcano caldera; b — Yubileynoye ore field; c—f — Eastern edge of the rift valley, seamount 17°09'



вертикально, но и горизонтально растекаясь в нём, спекая, литифицируя и насыщая осадки вулканическим пеплом и стёклами. Подобные литифицированные, насыщенные пеплом и стёклами осадки наблюдались в восточном борту рифтовой долины на склоне щелевого вулкана (вулканическая гора 17°09'), в осадочном слое вдоль трещины в подстилающих базальтах (рис. 11, e, f).

Выводы

На дне Атлантического океана в пределах Российского разведочного района выявлены разнообразные признаки процессов дегазации, в том числе видимые активные высачивания, выходящие на поверхность дна. Наиболее яркими признаками дегазации являются трещины и каналы как в подстилающих породах, так и в перекрывающих их осадках. При этом в бортах трещин и на поверхности дна вокруг трещин и каналов образуются ореолы спёкшихся, литифицированных осадков.

Ячейки Бенара впервые выявлены в пределах Российского разведочного района. Они появляются на поверхности осадков в результате прохождения через них тёплых газовых струй, возможно водорода, т. к. метан относится к охлаждающим газам.

Изменение структуры и цвета осадков (по сравнению с фоновыми), а также их литификация связаны с пропиткой осадочной толщи восходящими диффузными потоками газонасыщенных флюидов.

Многочисленные холмы, сложенные раздробленными базальтами с литифицированными осадками на поверхности обломков, и даже частично с ячейками Бенара на таких осадках, расположенные на выровненных подстилающих породах, перекрытых осадками, относятся к структурам дегазации, образованным по типу «бугров пучения».

Формирование небольших бугорков (размером не более 1 м в высоту) спёкшихся осадков, насыщенных пепловыми частицами, частично или полностью железёнными, на базальтовых лавовых покровах, присыпанных осадками, отнесены нами к одной из форм образования туффитов в процессе дегазации.

Глубинные газы могут не только подниматься к поверхности дна по вертикальным каналам, но и, достигнув поверхности дна, растекаясь в слое осадков горизонтально, спекая, литифицируя и насыщая их вулканическим пеплом.

Бактериальные маты и скопление двустворчатых моллюсков напрямую связаны с процессами дегазации и указывают на места их выходов на дне.

В литературе, посвящённой океаническим хребтам, упоминается о газовых струях, зафиксированных в придонной водной толще, и их составе, а рельеф дна, изменения в структуре осадочной толщи, связанные с дегазацией, практически не изучались. Необходимо уделять больше внимания этой проблеме, несомненно имеющей связь с формированием рельефа дна и с изменением климата на Земле.

Автор благодарит рецензентов за замечания и рекомендации при подготовке статьи к публикации, а также главного инженера Океанской поисково-съёмочной партии В. Б. Малина за помощь в оформлении карты и схемы Российского разведочного района.

Литература / References

- Акимцев В. А., Шарапов В. Н., Колобов В. Ю. и др. Гидротермальная активность зоны сочленения Срединно-Атлантического хребта с трансформным разломом Зеленого Мыса // Геологические исследования в Центральной Атлантике. Новосибирск: ОИГТМ РАН, 1991. С. 37—50.
- Akimtsev V. A., Sharapov V. N., Kolobov V. Yu. et al. Hydrothermal activity of the junction zone of the Mid-Atlantic Ridge and the Cape Verde transform fault. Geological research in the Central Atlantic. Novosibirsk: UIGGM RAS, 1991, pp. 37—50. (in Russian)
- Арсанова Г. И. Вода гидротерм вулканических областей: метеорная или вулканическая? // Пространство и Время: Альманах: Электронное научное издание. 2012. Т. 1. Вып. 1. С. 1—12.
- Arsanova G. I. Water of hydrotherms from volcanic regions: meteoric or volcanic? Electronic scientific publication: Space and Time Almanac, 2012, V. 1, No. 1, pp. 1—12. (in Russian)
- Арсанова Г. И. Сверхкритическое состояние воды как причина геологических явлений // Earth Sciences. The scientific heritage, 2020. № 45. С. 7—17.
- Arsanova G. I. Supercritical state of water as a cause of geological phenomena. Earth Sciences. The scientific heritage, 2020, No. 45, pp. 7—17. (in Russian)
- Богданов Ю. А., Гурвич Е. Г., Колобов В. Ю. и др. Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука, 2006. 527 с.
- Bogdanov Yu. A., Gurevich E. G., Kolobov V. Yu. et al. Hydrothermal ore genesis of the ocean floor. Moscow: Nauka, 2006, 527 p. (in Russian)
- Вернадский В. И. Избранные сочинения. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. Т. 4, кн. 2. 649 с.
- Vernadsky V. I. Selected Works. Moscow: USSR AS, 1960, V. 4, Book 2, 649 p. (in Russian)
- Добрецова И. Г., Оськина Н. С. О взаимодействии базальтов с карбонатными осадками в районе 13—20° с. ш. Срединно-Атлантического хребта // ДАН. 2015. Т. 461. № 3. С. 307—311.
- Dobretsova I. G., Oskina N. S. Interaction of basalts with carbonate sediments in the area of 13—20° N of the Mid-Atlantic Ridge. Doklady Earth Sciences, 2015, V. 461, No. 3, pp. 307—311.
- Иогансон Л. И. Возрождение Атанасиуса Кирхера // Пространство и Время: Альманах. Электронное научное издание. 2016. Т. 11. Вып. 1.
- Ioganson L. I. Revival of Athanasius Kircher. Electronic scientific publication: Space and Time Almanac, Planet Earth system, V. 11, No. 1, 2016. (in Russian)
- Кирхер Афанасий. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Kirkher_Afanasiy. URL: https://ru.ruwiki.ru/wiki/Lavrov_V_M
- Лавров В. М. Геология Срединно-Атлантического хребта / АН СССР. Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова. М.: Наука, 1979. 143 с.
- Lavrov V. M. Geology of Mid-Atlantic ridge. USSR AS. Shirshov Institute of Oceanology. M.: Nauka, 1979, 143 p. (in Russian)
- Лешн А. Ю., Гурвич Е. Г., Богданов Ю. А. и др. Новый тип гидротермальных растворов, обогащенных водородом и метаном, в рифтовой зоне Срединно-Атлантического хребта // ДАН. 2000. Т. 375. № 3. С. 380—383.



Lein A. Yu., Gurvich Ye. G., Bogdanov Yu. A., Grichuk D. V. A new type of hydrothermal solutions enriched in hydrogen and methane in the rift zone of the Mid-Atlantic Ridge. *Doklady Earth Sciences*, 2000, V. 375, No. 3, pp. 380–383. (in Russian)

Лейн А. Ю., Сагалеви́ч А. М. Курильщи́ки поля Рейнбоу — район масштабного абиогенного синтеза метана // *Природа*. 2000. № 8. С. 44–53.

Lein A. Yu., Sagalevich A. M. Rainbow field smokers — area of large-scale abiogenic methane synthesis. *Priroda*, 2000, No. 8, pp. 44–53 (in Russian)

Лиси́цин А. П., Богданов Ю. А., Гурви́ч Е. Г. Гидротермальные образования рифтовых зон океана. М.: Наука, 1990. 255 с.

Lisitsin A. P., Bogdanov Yu. A., Gurvich Ye. G. Hydrothermal formations of ocean rift zones. Moscow: Nauka, 1990, 255 p. (in Russian)

Предоставление бесплатных, открытых и полных данных и информации о морском дне в Мировом океане. URL: <https://www.gebco.net/>

Provision of free, open and comprehensive data and information about the seafloor in the World Ocean. URL: <https://www.gebco.net/>

Ячейки Бенара: обучающее видео. URL: yandex.ru/video/preview/1475414280369686583

Benard cells: Educational video. URL: yandex.ru/video/preview/1475414280369686583

Поступила в редакцию / Received 14.08.2024



Минералогия медных шлаков Выйского завода

Ю. В. Ерохин, В. С. Пономарев, А. В. Захаров, Л. В. Леонова

Институт геологии и геохимии Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия; erokhin-yu@yandex.ru

Уральский регион уже более 300 лет является металлургическим центром России, и здесь накопилось огромное количество шлаков. Изучение их минерального состава является актуальной задачей, т. к. многие шлаки могут нести угрозу экологии и представляют собой потенциальную руду, которую можно переработать. В настоящей работе мы приводим результаты изучения вещественного состава медных шлаков Выйского завода (Нижний Тагил, Свердловская область). Установлено, что шлаки сложены герцинит-фаялитовым агрегатом с постоянным присутствием магнетита, сульфидов (троилит и «расплавные твердые растворы» системы Cu-Fe-S), а также стекла, самородной меди и вестервельдита. Температура их образования предполагается в интервале 1186–1193 °С. Изученные шлаки можно целиком переработать, а именно получить из них медно-сульфидный, герцинит-магнетитовый и фаялитовый концентраты, которые можно далее использовать в металлургическом переделе. Показано, что сульфиды в шлакоотвале разлагаются и происходит постоянный вынос халькофильных и сидерофильных элементов, что повышает техногенную нагрузку на проживающее здесь население.

Ключевые слова: фаялит, герцинит, сульфиды, вещественный состав, медные шлаки, Выйский медеплавильный завод

Copper slags mineralogy of the Vyisky plant

Yu. V. Erokhin, V. S. Ponomarev, A. V. Zakharov, L. V. Leonova

Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The Ural region has been the metallurgical center of Russia for over 300 years and has accumulated a huge amount of slags. Studying their mineral composition is an urgent task, since many slags can be a threat to the environment and represent potential ore that can be further processed. In this paper we present the results of a study of the material composition of copper slags from the Vyisky plant (Nizhny Tagil, Sverdlovsk region). It has been established that the slags are composed of a hercynite-fayalite aggregate with the constant presence of magnetite, sulphides (troilite and «melt solid solutions» of the Cu-Fe-S system), as well as glass, native copper and westerveldite. The temperature of their formation is estimated in the range of 1186–1193 °C. The studied slags can be completely processed, namely, copper-sulfide, hercynite-magnetite and fayalite concentrates can be obtained from them, which can then be used in metallurgical processing. It is shown that sulfides in the slag dump decompose and there is a constant removal of chalcophile and siderophile elements, which increases the technogenic load on the population living here.

Keywords: fayalite, hercynite, sulphides, material composition, copper slags, Vyisky copper plant

Введение

Исследование медных шлаков является актуальной задачей как с точки зрения экологии, так и для возможного промышленного использования, т. к. многие из них представляют собой потенциальную руду. Переплавка медно-сульфидных руд для получения черновой меди всегда дает большой объем металлургического шлака. На современных медеплавильных предприятиях мира выход шлака в зависимости от технологий составляет от 2 до 5 т на тонну получаемой черновой меди (Sanchez, Sudbury, 2013). На сегодняшний день по всему миру накопились огромные объемы медных шлаков, в том числе и на Среднем Урале, который несколько столетий являлся одним из главных металлургических центров России.

Изучением минералогии, или вещественного состава, медных шлаков занимаются многие ученые. В первую очередь активно исследуются отходы современных действующих медеплавильных предприятий, т. к. они являются центром экологических проблем, на них накоплены гигантские объемы шлака, которые

кроме меди зачастую содержат и другие элементы, в том числе и благородные металлы (Lohmeier et al., 2021; Nasab et al., 2022; Сайитов и др., 2024 и мн. др.). Получаемые в результате этих исследований данные позволяют заниматься вторичной переработкой отвалов шлака и снижать экологическую нагрузку на окружающую среду. При этом надо отметить, что старинные медные заводы в настоящее время несколько выпали из зоны внимания исследователей. Дело в том, что с такими заводами не связаны какие-либо значимые объемы шлакоотвалов, а значит, нет перспектив их вторичной переработки и ярко выраженных экологических проблем. Старинные и древние лежалые шлакоотвалы исследуют либо с целью археологических изысканий (Artemyev et al., 2018 и др.), либо ради интересных и уникальных минералогических находок. Например, в последнее время активно изучаются античные шлаки Лавриона (Аттика, Греция), где установлено богатое минеральное разнообразие в виде галоидов, арсенатов и сульфатов свинца, меди, железа, цинка и серебра (Gelaide et al., 1996; Pekov et al., 2011; Siidra et al., 2018 и др.).

Для цитирования: Ерохин Ю. В., Пономарев В. С., Захаров А. В., Леонова Л. В. Минералогия медных шлаков Выйского завода // Вестник геонаук. 2025. 5(365). С. 29–35. DOI: 10.19110/geov.2025.5.4

For citation: Erokhin Yu. V., Ponomarev V. S., Zakharov A. V., Leonova L. V. Copper slags mineralogy of the Vyisky plant. Vestnik of Geosciences, 2025, 5(365), pp. 29–35. DOI: 10.19110/geov.2025.5.4

Медные шлаки Выйского завода, который являлся одним из первых среднеуральских предприятий медеплавильной промышленности и главным медным заводом известной династии Демидовых (Металлические..., 2001; Алексеев, Гаврилов, 2008), увеличивают экологическую нагрузку на территорию Нижнего Тагила, поэтому необходимо изучить минеральный состав данных шлаков и оценить возможность их вторичной переработки. Цель исследования — изучение вещественного состава медных шлаков Выйского завода для их использования в дальнейшем металлургическом переделе.

Место отбора образцов

Выйский завод и его строения до наших дней не сохранились, за исключением дамбы, по которой сейчас проложена ул. Краснознаменная. На территории бывшего завода сейчас располагаются цеха корпорации KDV («Кондитерский дом “Восток”») — российского производителя чипсов, снеков, консервов и других продуктов. Жарким летом 2024 г. по периферии всего предприятия были проведены противопожарные работы. Благодаря им вокруг деревянного забора, окружающего предприятие, появилась 10-метровая вырубленная и распаханная зона, которая частично подцепила лежалый шлакоотвал бывшего завода. Именно здесь, восточнее предприятия, на правом берегу р. Вый, мы отобрали пробы шлака и штейна, а также сопутствующие металлические скопления (всплески) меди. Шлаки однородные, черного цвета, местами покрытые зелеными пленками вторичной медной минерализации. На свежем изломе медные шлаки имеют темно-серую окраску с включениями сульфидов.

Методы исследования

Аналитические исследования проводились в Институте геологии и геохимии УрО РАН (г. Екатеринбург). Химический состав минералов и фотографии в режиме BSE (обратнорассеянных электронов) сделаны с помощью сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA LMS, S6123 с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 фирмы Oxford Instruments и программным обеспечением AZtecOne с ускоряющим напряжением 20 кВ и временем экспозиции 5 мс на пиксель. Напыление образцов углеродное (аналитик Л. В. Леонова). Петрогенные компоненты определены на рентгенофлуоресцентном волновом спектрометре XRF 1800 фирмы Shimadzu с мощной (4 кВт) рентгеновской трубкой (Rh-анод), с кристаллами-анализаторами TAP, PET, Ge, LiF (200), с проточно-пропорциональным и сцинтилляционным счетчиками, стабилизатором вакуума (аналитик Н. П. Горбунова). Потери при прокаливании установлены путем нагревания пробы до 400 °С (аналитик Г. С. Неупокоева). Расчет кристаллохимических формул производился анионным методом (на количество атомов кислорода), а содержание окисного железа рассчитывалось согласно стехиометрии каждого конкретного минерала.

Результаты исследования

Химический состав шлака следующий (вес. %): SiO_2 — 31.65; P_2O_5 — 0.26; TiO_2 — 0.35; Al_2O_3 — 5.48;

$\text{FeO}_{\text{общ}}$ — 54.13; MgO — 1.81; MnO — 1.08; CaO — 2.41; K_2O 0.53; Na_2O — 0.30; S — 0.51; Cu — 0.83; Zn — 0.19; П.п.п. — 0.41; Сумма — 99.94. Присутствие небольшого количества потерь при прокаливании указывает на слабые вторичные изменения шлака.

В результате проведенных нами исследований оказалось, что отобранные образцы сложены герцинит-фаялитовым агрегатом с постоянным присутствием магнетита, сульфидов, а также стекла, самородной меди и вестервельдита. Ниже приведено описание минералов.

Фаялит ($\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$) является главным минералом в шлаке (около 60–65 об. %) и образует два типа выделений. Первый тип преобладает по объему и представляет собой коротко- и длиннопризматические кристаллы (рис. 1, 2) размером до 0.5 см в длину, которые образуют характерную структуру «спинифекс». По данным химического состава индивиды первого типа имеют зональность: центральная часть более магнезиальная и содержит до 9–10 мас. % MgO , а краевая обеднена магнием, содержит не более 3.2 мас. % MgO (табл. 1, ан. 1, 2). На петрографической диаграмме оливина анализы первого типа попадают в поле феррогортонолита и частично фаялита (Fa_{75-91}). В оливине отмечаются примеси MnO (до 1.5 мас. %) и CaO (до 0.6 мас. %).

Второй тип фаялита представлен скелетными игольчатыми кристаллами размером до 50 мкм по удлинению, распыленными по матрице стекла (рис. 2). По данным химического состава, индивиды второго типа относятся к фаялиту (см. табл. 1, ан. 3–5), хотя и содержат большое количество примесей MgO (до 2 мас. %), MnO (до 1.6 мас. %), CaO (до 1.2 мас. %), Al_2O_3 (до 0.9 мас. %) и P_2O_5 (до 0.7 мас. %). Интересно, что во всех типах при кристаллохимическом пересчете оливина в позиции кремния наблюдается небольшой дефицит, который, по всей видимости, компенсируется окисным железом.

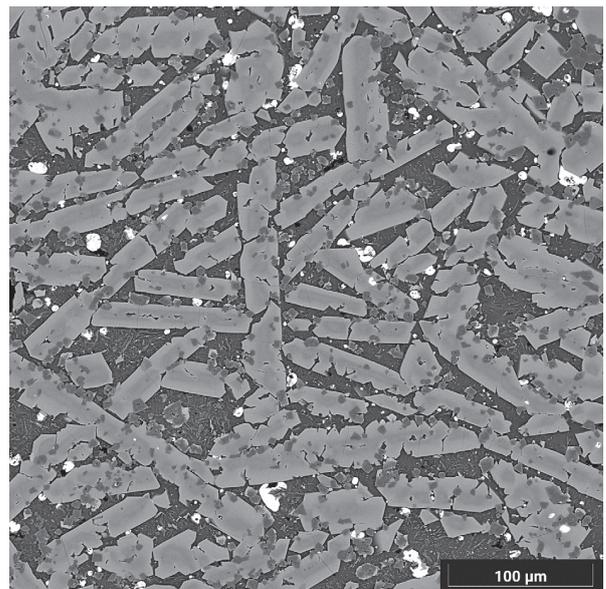


Рис. 1. Внешний вид выйского шлака с призматическими кристаллами фаялита. Здесь и далее: BSE-фото, TESCAN MIRA LMS, S6123

Fig. 1. Appearance of Vyskiy slag with prismatic fayalite crystals. From here on: BSE photo, TESCAN MIRA LMS, S6123

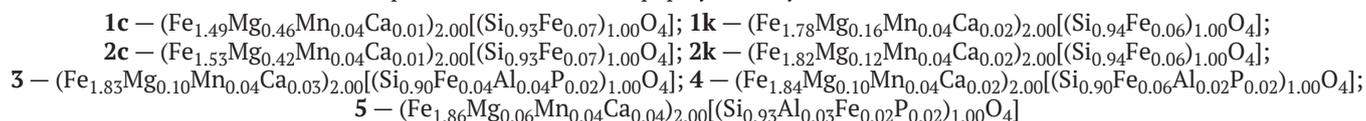


Таблица 1. Химический состав фаялита в шлаках Выйского завода (мас. %)

Table 1. Chemical composition of fayalite in slags of the Vyisky plant (wt. %)

Nº an.	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Sum
1c	-	29.21	-	3.04	56.43	1.42	9.66	0.24	100.27
1k	-	28.15	-	2.58	64.08	1.39	3.24	0.56	100.23
2c	-	29.17	-	2.87	57.54	1.32	8.75	0.35	100.26
2k	-	28.09	-	2.49	64.97	1.47	2.40	0.58	100.23
3	0.64	26.83	0.94	1.54	65.66	1.42	2.01	0.96	100.14
4	0.70	26.93	0.40	2.29	65.79	1.43	1.96	0.50	100.21
5	0.64	27.67	0.78	0.85	65.39	1.55	1.13	1.19	100.08

Кристаллохимические формулы / Crystal-chemical formulas:



Примечание. Здесь и далее: an. — анализ, с — центр зерна, k — край зерна; трехвалентное железо рассчитано по стехиометрии.

Note. From here on: an. — analysis, c — grain center, k — grain edge; trivalent iron is calculated according to stoichiometry.

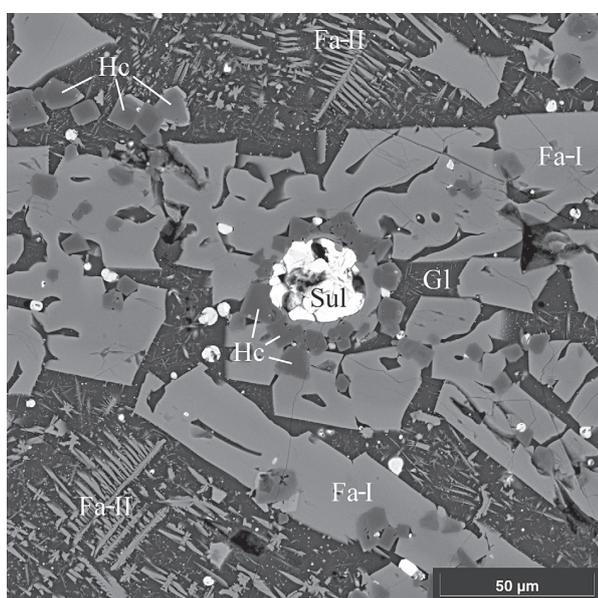


Рис. 2. Первый (Fa-I) и второй (Fa-II) типы фаялита в шлаке с герцинитом (Hc), сульфидами (Sul) и стеклом (Gl)

Fig. 2. The first (Fa-I) and second (Fa-II) types of fayalite in slag with hercynite (Hc), sulfides (Sul) and glass (Gl)

Химический состав фаялита обоих типов имеет общие геохимические черты. Интересно, что фаялит из шлаков Выйского завода хорошо сопоставляется с оливином железодельательного производства (Portillo-Blanco et al., 2020 и др.) и сильно отличается от фаялитов из медных шлаков как царского периода (Ерохин и др., 2023 и др.), так и современных (Nasab et al., 2022, Сайитов и др., 2024 и др.).

Герцинит (FeAl₂O₄) является второстепенным минералом в шлаке (около 10–15 об. %). Он встречается в индивидах фаялита первого типа и в стекле, а также образует цепочки обрастания вокруг сульфидных шариков (рис. 2). Обычно шпинелид представлен хорошо образованными изометричными кристаллами размером до 20–30 мкм. Изредка встречается в виде более крупных футляровидных индивидов размером до 100 мкм (рис. 3). По данным химического состава, зерна герцинита имеют зональность: центральная часть более магнезиальная и глиноземистая, а кра-

вая обеднена магнием и более железистая (табл. 2, ан. 1, 2). По результатам пересчета центральная часть содержит миналы шпинели (до 21 %) и магнетита (до 10 %), а краевая часть — миналы шпинели (до 11 %) и магнетита (до 14 %). При этом в герцините отмечаются примеси ванадия (V₂O₃ до 1.2 мас. %), цинка (ZnO до 0.7 мас. %) и хрома (Cr₂O₃ до 0.5 мас. %). В целом герцинит является обычным минералом в старинных медных шлаках (Kierczak, Pietranik, 2011 и др.) и не характерен для современных отходов металлургии меди (Nasab et al., 2022, Сайитов и др., 2024 и др.).

Магнетит (FeFe₂O₄) слагает каймы на некоторых зернах герцинита, в основном на тех, которые расположены в стекле. В некоторых случаях магнетит целиком замещает зерна герцинита (рис. 4). Магнетит имеет неоднородный химический состав и отличается повышенным содержанием Al₂O₃ (до 11.8 мас. %) и TiO₂ (до 11.3 мас. %), что в пересчете дает 25 % минала герцинита и 15 % минала ульвошпинели (табл. 2, ан. 3, 4). В целом магнетит является обычным минералом в ле-

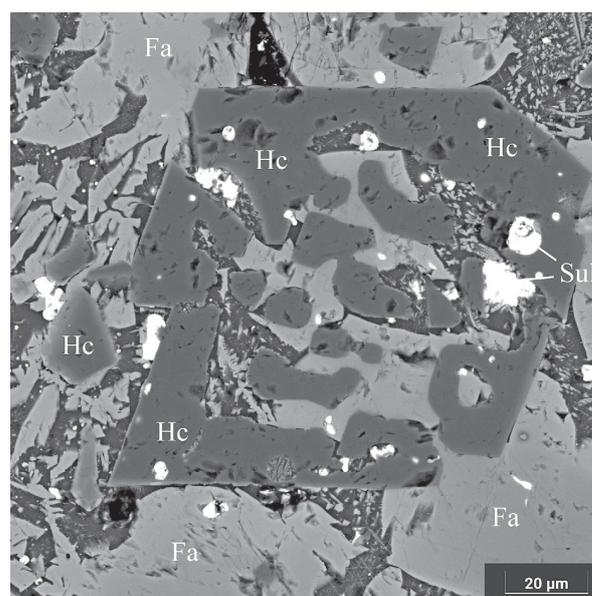


Рис. 3. Футляровидный кристалл герцинита (Hc) в шлаке, в ассоциации с сульфидами (Sul) и фаялитом (Fa)

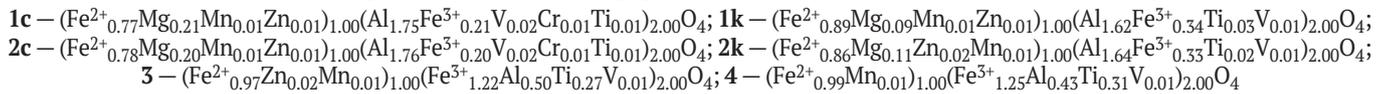
Fig. 3. Case-shaped crystal of hercynite (Hc) in slag, in association with sulfides (Sul) and fayalite (Fa)

Таблица 2. Химический состав герцинита и магнетита из шлака (мас. %)

Table 2. Chemical composition of hercynite and magnetite from slag (wt. %)

№ ан.	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	ZnO	MgO	Sum
1с	0.32	0.96	0.52	51.48	9.69	32.11	0.46	0.55	4.88	100.97
1к	1.17	0.39	-	44.95	14.65	35.63	0.52	0.58	2.13	100.02
2с	0.35	1.18	0.43	51.23	8.95	32.06	0.46	0.58	4.66	99.90
2к	0.66	0.72	-	46.06	14.63	34.83	0.54	0.65	2.52	100.61
3	9.79	0.34	-	11.83	44.62	32.02	0.46	0.63	-	99.69
4	11.26	0.36	-	9.85	45.37	32.79	0.44	-	-	100.07

Кристаллохимические формулы / Crystal-chemical formulas:



Примечание: ан. 1, 2 – герцинит, ан. 3, 4 – магнетит.

Note: an. 1, 2 – hercynite, an. 3, 4 – magnetite.

жалых (царского периода) отходах медеплавильного производства (Ерохин и др., 2023 и др.) и в современных медных шлаках (Nasab et al., 2022, Сайитов и др., 2024 и др.).

Стекло в шлаке встречается часто, его количество достигает 15–20 об. %. Оно выполняет интерстиции между индивидами фаялита первого типа и само содержит включения фаялита второго типа, герцинита, магнетита и различных сульфидов. При этом размер чистых участков стекла, свободных от включений, редко превышает 20 мкм. Представительный состав стекла (мас. %): SO₃ – 0.82; P₂O₅ – 1.94; SiO₂ – 43.87; TiO₂ – 0.60; Al₂O₃ – 16.96; FeO – 20.09; MnO – 0.51; CaO – 11.71; Na₂O – 1.22; K₂O – 2.30. Удивляет полное отсутствие магния в стеклофазе. На диаграмме TAS для вулканитов стекло попадает в поле умеренно-щелочных пикробазальтов, т. е. относится к субщелочным ультраосновным породам.

Троилит (FeS) как один из главных сульфидных минералов в шлаке слагает самостоятельные округлые

выделения и включения в медно-железистых сульфидах размером до 50 мкм (рис. 5). По составу соответствует троилиту и содержит небольшую примесь Cu (до 2.3 мас. %). Данный сульфид является вполне обычным минералом как современных (Nasab et al., 2022 и др.), так и лежалых (царского периода) медных (Ерохин и др., 2023 и др.) и древних шлаков железного века (Artemyev et al., 2018).

Сульфиды Cu-Fe наряду с троилитом образуют так называемый в металлургии штейн и являются главными минералами серы в шлаке. Они встречаются по всей матрице породы в виде округлых выделений размером до 100 мкм. По составу они неоднородные (со структурами распада) и содержат включения троилита, вестервельдита и меди (рис. 6). Химический состав светлых (в BSE-изображении) зон вариabельный (мас. %): S – 25.43–29.50, Fe – 11.28–19.65, Cu – 52.07–62.90. При этом сульфид с минимальным содержанием Fe является борнитом (Cu₅FeS₄; S – 25.6, Fe – 11.1, Cu –

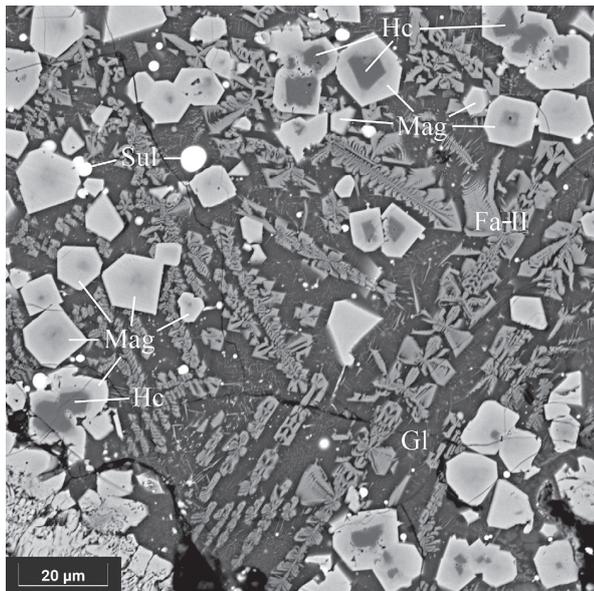


Рис. 4. Зональные кристаллы герцинита (Hc) с магнетитом (Mag) среди стекла (Gl), сульфидов (Sul) и фаялита второго типа (Fa-II)

Fig. 4. Zonal crystals of hercynite (Hc) with magnetite (Mag) among glass (Gl), sulfides (Sul) and second-type fayalite (Fa-II)

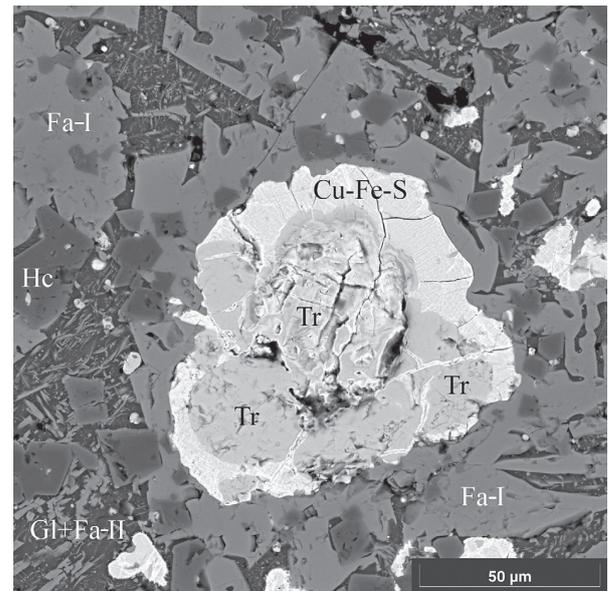


Рис. 5. Троилит (Tr) с каймой Cu-Fe-сульфидов (Cu-Fe-S) среди стекла (Gl), герцинита (Hc), а также фаялита первого (Fa-I) и второго (Fa-II) типов

Fig. 5. Troilite (Tr) with a rim of Cu-Fe sulfides (Cu-Fe-S) among glass (Gl), hercynite (Hc), and fayalite of the first (Fa-I) and second (Fa-II) types



63.3). Химический состав темных зон более железистый (мас. %): S — 29.85—32.17, Fe — 34.25—49.26, Cu — 15.43—32.13, при этом наиболее медистые фазы приближаются к халькопириту (CuFeS_2 : S — 34.9, Fe — 30.4, Cu — 34.6). В целом подобные «расплавные твердые растворы» системы $\text{Cu}_{1-x}\text{Fe}_{2+y}\text{S}_{2-z}$ синтезированы в диапазоне температур от 1012 до 325 °C (Kosyakov, Sinyakova, 2014).

Вестервельдит (FeAs) изредка встречается в сульфидных шариках. Он образует зерна размером до 5 мкм, причем как в троилите, так и в медно-железистых сульфидах. По химическому составу (мас. %): As — 57.07, Fe — 35.83, Co — 3.96, Ni — 2.73, Cu — 0.41 — минерал хорошо пересчитывается на формулу арсенида железа — $(\text{Fe}_{0.84}\text{Co}_{0.09}\text{Ni}_{0.06}\text{Cu}_{0.01})_{1.00}\text{As}_{1.00}$. Вестервельдит упоминался в средневековых шлаках свинцово-серебряного производства (Ströbele, 2010), а нами установлен в медных шлаках Благodatного завода (Ерохин и др., 2021).

Медь (Cu) образует мелкие зерна и проволочки размером до 10—15 мкм в некоторых сульфидных шариках (рис. 6). Интересно, что металл встречается только внутри скоплений сульфидного расплава (штейна). По составу медь имеет небольшие примеси, металл содержит Fe (в пределах 6—7 мас. %) и S (от 1.1 до 1.8 мас. %).

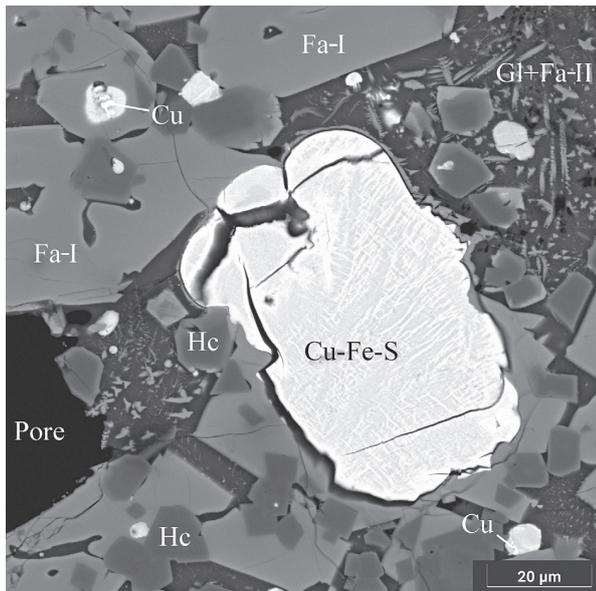


Рис. 6. Медь (Cu) и Cu-Fe-сульфиды (Cu-Fe-S) среди стекла (Gl), герцинита (Hc), а также фаялита первой (Fa-I) и второй (Fa-II) генераций; Pore — пустота

Fig. 6. Copper (Cu) and Cu-Fe sulfides (Cu-Fe-S) among glass (Gl), hercynite (Hc), and fayalite of the first (Fa-I) and second (Fa-II) generations; Pore — emptiness

Обсуждение результатов исследования

В результате проведенного нами исследования медные шлаки Выйского завода имеют следующий минеральный состав. Силикатная составляющая породы сложена фаялитом (двумя генерациями) и стеклом. Окислы представлены герцинитом (в большом количестве) и магнетитом. Халькогениды — вестервельдитом, троилитом и Cu-Fe-сульфидами (некоторые по составу определяются как борнит и халькопирит). Присутствует самородная медь.

Судя по минеральному составу шлаков, при плавке медной руды использовалась добавка в виде кварца (флюс). Об этом говорит резкое преобладание фаялита в шлаке и полное отсутствие кальциевого пироксена (если бы добавляли известняк). Обилие сульфидной минерализации в шлаке говорит о том, что плавилась сульфидные руды (по историческим сведениям — из Меднорудянского месторождения). При этом известно, что на данном месторождении сначала добывали окисные руды, а уже потом сульфидные (Попова и др., 2015), т. е. мы изучали шлаки второго этапа обработки объекта. Температуру плавки медных руд можно определить по точке плавления/кристаллизации троилита, которая экспериментально оценивается в узком интервале 1186—1193 °C (Ефимов и др., 1983 и др.).

Оценить объемы отвалов медного шлака Выйского завода достаточно сложно. Очевидно, что часть лежалого отвала на восточной окраине бывшего завода сохранилась. При этом большая часть отвала куда-то была вывезена. Дело в том, что завод расположен на территории северной части современного города Нижний Тагил и, по всей видимости, шлакоотвал шел на различные строительные нужды (отсыпку фундаментов зданий, постройку полотна дорог, засыпку выработок и т. д.). Такую оценку необходимо провести, т. к. вполне возможно, что фрагменты медьсодержащего шлакоотвала уже не задействованы в муниципальном обороте и их можно изъять на переработку.

Нахождение отвала медных шлаков в пределах Нижнего Тагила вызывает дополнительную техногенную нагрузку на проживающее здесь население. Отвал расположен в долине р. Выи, и через шлаки проходит сброс грунтовых вод в реку. Наличие на образцах вторичной медной минерализации говорит о том, что сульфиды в шлаках разлагаются и происходит вынос халькофильных элементов. Уровень загрязнения вод должны определить экологические службы города.

Медные шлаки Выйского завода могут быть переработаны. В первую очередь из них можно извлечь сульфидный концентрат (при помощи флотации) с попутной медью, которая находится внутри сульфидных шариков. Во вторую очередь можно выделить герцинит-магнетитовый концентрат (при помощи магнитной сепарации), который также содержит ценные примеси ванадия, хрома и титана. Оставшийся фаялит, как содержащий 60—65 % FeO, является железной рудой. К сожалению, технологии выделения железа из силикатов у нас пока нерентабельны, но в ближайшем будущем вполне могут стать окупаемыми.

Заключение

Таким образом, впервые изучен вещественный состав шлаков Выйского медеплавильного завода. Установлено, что они сложены герцинит-фаялитовым агрегатом с постоянным присутствием магнетита, сульфидов (троилит и «расплавные твердые растворы» системы Cu-Fe-S), а также стекла, самородной меди и вестервельдита. Температура образования шлаков определяется в узком интервале 1186—1193 °C. Их можно целиком переработать, а именно получить из данных шлаков медно-сульфидный, герцинит-магнетитовый и фаялитовый концентраты. Экологическое влияние

шлаков на окружающую среду оценить сложно, но оно имеет место, т. к. сульфиды в шлакоотвале разлагаются и происходит вынос халькофильных и сидерофильных элементов, что повышает техногенную нагрузку на проживающее здесь население.

Авторы благодарят рецензентов за помощь в улучшении рукописи.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Правительства Свердловской области, № 24-27-20061, <https://rscf.ru/project/24-27-20061/>.

Литература / References

- Алексеев В. В., Гаврилов Д. В. *Металлургия Урала с древнейших времен до наших дней*. М.: Наука, 2008. 886 с. Alekseev V. V., Gavrilov D. V. *Metallurgy of the Urals from ancient times to the present day*. Moscow: Nauka, 2008, 886 p. (in Russian)
- Ерохин Ю. В., Захаров А. В., Леонова Л. В. Шлаки Благодатного медеплавильного завода (состав и геоэкология) // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 5. С. 75–86. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-75-86 Erokhin Yu. V., Zakharov A. V., Leonova L. V. Slags of the Blagodatnoye copper smelter (composition and geoecology). *News of universities. Mining journal*, 2021, No. 5, pp. 75–86. (in Russian)
- Ерохин Ю. В., Пономарев В. С., Захаров А. В., Леонова Л. В. Минералогия медных шлаков Сысертского железоделательного завода, Средний Урал // Минералогия. 2023. Т. 9. № 2. С. 30–40. DOI: 10.35597/2313-545X-2023-9-2-3 Erokhin Yu. V., Ponomarev V. S., Zakharov A. V., Leonova L. V. Mineralogy of copper slags of the Sysert ironworks, Middle Urals. *Mineralogy*, 2023, V. 9, No. 2, pp. 30–40. (in Russian)
- Ефимов А. И., Белорукова Л. П., Василькова И. В., Чечев В. П. Свойства неорганических соединений. Л.: Химия, 1983. 389 с. Efimov A. I., Belorukova L. P., Vasilkova I. V., Chechev V. P. *Properties of inorganic compounds*. Leningrad: Khimiya, 1983, 389 p. (in Russian)
- Металлургические заводы Урала XVII–XX вв.: Энциклопедия / Гл. ред. В. В. Алексеев. Екатеринбург: Академкнига, 2001. 536 с. Metallurgical factories of the Urals. 17th–20th centuries. / Alekseev V. V. (chief editor). *Encyclopedia*. Yekaterinburg: Academkniga, 2001, 536 p. (in Russian)
- Попова В. И., Попов В. А., Блинов И. А., Пономарев В. С. Минералы Меднорудянского месторождения (Средний Урал) // Минералогический альманах. 2015. Т. 20. Вып. 3. 128 с. Popova V. I., Popov V. A., Blinov I. A., Ponomarev V. S. Minerals of the Mednorudyanskoye deposit (Middle Urals). *Mineralogical almanac*, 2015, V. 20, 3, 128 p. (in Russian)
- Сайитов С. С., Цой В. Д., Расулов Ш. М., Печерский Р. Д., Расулова А. В., Абдуваитов А. К., Асроров А. А. Вещественный состав медных шлаков Алмалыкского медеплавильного завода (Узбекистан) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2024. Т. 335. № 4. С. 148–158. DOI: 10.18799/24131830/2024/4/4292 Sayitov S. S., Tsoi V. D., Rasulov Sh. M., Pechersky R. D., Rasulova A. V., Abduvaitov A. K., Asrorov A. A. Material composition of copper slags of the Almalyk copper smelter (Uzbekistan). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2024, V. 335, No. 4, pp. 148–158. (in Russian)
- Artemyev D. A., Ankushev M. N., Blinov I. A., Kotlyarov V. A., Lukpanova Ya. A. Mineralogy and origin of slags from the 6th kurgan of the Taksay 1 burial complex, Western Kazakhstan // *Canadian Mineralogist*, 2018. Vol. 56. P. 883–904. DOI: 10.3749/canmin.1800025
- Gelaude P., Kalmthout P., Rewitzer C. Lavrion, the Minerals in the Ancient Slags. Nijmegen: Janssen Print, 1996, 194 p.
- Kierczak J., Pietranik A. Mineralogy and composition of historical Cu slags from the Rudawy Janowickie mountains, Southwestern Poland // *Canadian Mineralogist*, 2011. Vol. 49. P. 1281–1296. DOI: 10.3749/canmin.49.5.1281
- Kosyakov V. I., Sinyakova E. F. Melt crystallization of CuFe₂S₃ in the Cu-Fe-S system // *Journal Thermal Analysis Calorimetry*, 2014. Vol. 115. P. 511–516. DOI: 10.1007/s10973-013-3206-0
- Lohmeier S., Lottermoser B. G., Schirmer T., Gallhofer D. Copper slag as a potential source of critical elements — a case study from Tsumeb, Namibia // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2021. Vol. 121. P. 129–142. DOI: 10.17159/2411–9717/1383/2021
- Nasab M. S., Bafti S. B., Yarahmadi M. R., Maymand M. M., Khorasani K. J. Mineralogical properties of the copper slags from the Sar Cheshmeh smelter plant, Iran // *Minerals*, 2022. Vol. 12. Article 1153. DOI: 10.3390/min12091153
- Pekov I. V., Chukanov N. V., Zadov A. E., Voudouris P., Magganas A., Katerinopoulos A. Agardite-(Nd) NdCu₆(AsO₄)₃(OH)₆ × 3H₂O from the Hilarion Mine, Lavrion, Greece: mineral description and chemical relations with other members of the agardite-zálesiite solid-solution system // *Journal of Geosciences*, 2011. Vol. 56. Is. 3. P. 249–255. DOI: 10.3190/jgeosci.099
- Portillo-Blanco H., Zuluaga M. C., Ortega L. A., Alonso-Olazabal A., Cepeda-Ocampo J. J., Salcedo A. M. Mineralogical characterization of slags from the Oiola Site (Biscay, Spain) to assess the development in bloomery iron smelting technology from the Roman Period to the Middle Ages // *Minerals*, 2020. Vol. 10. Article 321. DOI: 10.3390/min10040321
- Sanchez M., Sudbury M. Physicochemical characterization of copper slag and alternatives of friendly environmental management // *Journal of Mining and Metallurgy. Section B: Metallurgy*, 2013. Vol. 49. P. 161–168. DOI: 10.2298/JMMB120814011S
- Siidra O. I., Nekrasova D. O., Chukanov N. V., Pekov I. V., Yapaskurt V. O., Katerinopoulos A., Voudouris P., Magganas A., Zaitsev A. N. Hydrocerussite-related phase NaPb₅(CO₃)₄(OH)₃ from the ancient slags of Lavrion, Greece // *Mineralogical Magazine*, 2018. Vol. 82. P. 809–819. DOI: 10.1180/minmag.2017.081.058
- Ströbele F., Wenzel T., Kronz A., Hildebrandt L. H., Markl G. Mineralogical and geochemical characterization of high-medieval lead-silver smelting slags from Wiesloch near Heidelberg (Germany) — an approach to process reconstruction // *Archaeological Anthropological Sciences*, 2010. Vol. 2. P. 191–215. DOI: 10.1007/s12520-010-0039-7

Поступила в редакцию / Received 24.03.2025



1945

Отцы, ковавшие победу

2025

Fathers, who forged the Victory

In the year of the 80th anniversary of the Victory in the Great Patriotic War, the Institute of Geology of the Komi Scientific Centre UB RAS prepared for printing a special edition 'The fathers who forged the Victory' with brief biographies, memories and photographs of veterans. The publication contains a gallery of warriors – workers, as well as fathers, mothers, grandfathers of the Institute of Geology employees. Some memories of battles and wartime are given. All this is collected to keep in every family, so that we'll remember and our descendants will know about the price of the Great Victory.

We publish a small excerpt from this special issue about the frontline youth of IG Komi SC employee V. I. Esev (19.12.1922 – 15.05.1994).

В год 80-летия Победы в Великой Отечественной войне Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук подготовил к печати специальное издание «Отцы, ковавшие победу» с краткой биографией, воспоминаниями и фотографиями ветеранов. Как отметил директор института И. Н. Бурцев, «В издании размещена галерея воинов — работников, а также отцов, матерей, дедов сотрудников Института геологии. Приведены некоторые воспоминания о боях и военном времени. Все это собрано для того, чтобы хранить в каждой семье, чтобы мы помнили, а наши потомки знали о цене Великой Победы».

Публикуем небольшой отрывок из этого специального издания о фронтовой молодости сотрудника института В. И. Есева (19.12.1922—15.05.1994).

...В 1941 году Василий Есев успешно закончил фельдшерско-акушерскую школу по специальности «фельдшер». В августе 1941 года Василий был призван в армию. Железнодорожного сообщения в Сыктывкаре тогда не было. Новобранцев погрузили на пароход, на котором они по речному пути добрались до Котласа. Невысокого роста Василий в свои неполные девятнадцать лет был больше похож на подростка, чем на защитника Родины. Он был ещё по-детски щуплым и совсем наивным юношей. <...>

Как вспоминал сам Василий, отправляясь на войну с врагом, он прихватил с собой огромную рогатку «для фрицев», но уже в Котласе выбросил её, наслушавшись насмешек от товарищей.

Медицинская специальность пригодилась. Войну Василий прошёл в качестве военфельдшера при 248-м артиллерийском полку 86-й Тартуской стрелковой дивизии (бывшая 4-я Ленинградская стрелковая дивизия народного ополчения, расформированная 24.09.1941 года). Вместе со своими однополчанами он принимал участие в боях на Ленинградском, 3-м Прибалтийском и 2-м Белорусском фронтах. Дивизия, в которой воевал Василий, сражалась на территории СССР под Ленинградом, Псковом, Тарту (Эстонская ССР). Бои за

освобождение европейских народов от фашизма впоследствии велись в Польше и Германии. Полк Василия принимал участие в боях под Кёнигсбергом. О боевом пути, который прошёл Василий и его однополчане, есть сведения в «Вестнике» (Они защищали Отечество // Вестник ИГ Коми НЦ Уро РАН. 2002. № 5) и в книге «Судьбы, опалённые войной» (Сыктывкар: Коми НЦ Уро РАН, 1995).

Война — испытание нечеловеческое. Нам, потомкам тех, кто сумел выжить в военном аду, не дано так понимать и чувствовать это, как ветеранам войны. Казалось бы, ну что может быть такого сверхтяжёлого в службе военфельдшера, пусть даже в артиллерийском полку? Это же не передовая. Но на войне как на войне, и бывает всякое.

Однажды у солдат в полку Василия появились признаки острого пищевого отравления. В полевых условиях причиной этого могли быть и плохо помытые руки, и некачественная вода, которой пользовались красноармейцы. В обязанности военфельдшера В. Есева входило следить за качеством питьевой воды. Когда случилось это злополучное ЧП, он, конечно, принял все меры, чтобы устранить его последствия. Особых антисептических средств, тем более эффективных антибиотиков, тогда не было, и Василий пролечил заболевших солдат раствором марганцовки. Никто из них серьёзно не заболел, и все остались в строю. В мирное время, «на гражданке» — так себе происшествие. <...> Но время было военное и суровое. В результате разбирательства руководство полка возложило всю вину за случившееся на фельдшера В. И. Есева. Василий был лишён воинского звания и отправлен в штрафной батальон, где, по выражению тех лет, необходимо было «кровью смыть свою вину» за совершённый проступок.

Иногда можно слышать такое: «Выпал жребий». Это, наверное, и был жребий судьбы, только жребий тёмный, или даже чёрный. Вот так Василий Есев оказался на настоящей передовой. Вскоре в одном из ожесточённых боев в марте 1943 года он попал в жуткую передрагу. Василий был тяжело ранен разорвавшейся рядом миной — осколком раздробило голень правой ноги. Но ему, несомненно, повезло. Его не убило, он не истёк кровью и сумел себя перевязать. Медицинская специальность спасла ему жизнь. Будучи раненым, он сумел ещё оказать помощь своему раненому командиру и вытащить его из-под огня. И снова везенье — каким-то чудом рядом уцелела повозка с лошадью. В том злополучном бою, похожем на дьявольскую мясорубку, как говорилось тогда на сухом казённом языке сообщений о военных потерях, «рота не досчиталась значительной части личного состава».

И в госпитале Василий продолжал сражаться за свою жизнь. Тяжёлое ранение угрожало гангреней. Пережив сражения, солдаты с такими ранениями порой умирали от госпитальных инфекций и осложнений. Врачи настаивали на ампутации. Василий умолял оставить ногу, обещая следить за ней, делать дезинфицирующие примочки и перевязки. Врачи сжалились



Лейтенант медицинской службы орденоседец В. И. Есев (слева) (фотографии военных лет)

Lieutenant of the medical service, Medal-bearer V. I. Yesev (photos of the war years)

над коллегой-калекой, а молодой организм справился, и Василий пошёл на поправку. <...>

На пожелтевшей от времени серой бумаге есть повоенному чеканные строчки выписки из приказа войскам 42-й действующей армии за номером № 0121 от 19 марта 1943 года: «...За проявленные храбрость и мужество при выполнении боевой задачи в борьбе с немецкими оккупантами как искупивших свою вину освободить от дальнейшего прохождения службы в 28-й отдельной штрафной роте и восстановить в прежних воинских званиях следующих красноармейцев...». Под номером один от руки чёрной чернильной ручкой было вписано имя Есева Василия Ивановича. <...>

Полученная после госпиталя выписка была аккуратно согнута вчетверо. Очевидно, Василий долго носил её с собой в нагрудном кармане вместе с другими документами как счастливый билет.

За свой солдатский подвиг спасения командира Василий вскоре был награждён орденом Красной Звезды. В августе 44-го он был легко ранен в правую руку. Кроме ордена Красной Звезды были потом у него и другие награды: орден Отечественной войны 1-й степени, медали «За оборону Ленинграда», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» и множество юбилейных медалей. Но этот орден Красной Звезды, доставшейся такой ценой, был, конечно, для Василия чем-то вроде главной награды всей жизни.

Впоследствии свои награды Василий надевал только в День Победы, всегда трепетно и серьёзно встречая этот праздник. Многие годы переписывался с однополчанами и однажды даже ездил в Ленинград на 25-летие Победы. Рассказывать про войну, как и многие ветераны, не любил. Очень уж тяжелы были для него эти воспоминания, много боевых друзей потерял Василий за эти годы. Хлебнул он лиха, разделив и тяготы ленинградцев-блокадников, когда его полк находился под Ленинградом. Впоследствии Василию были

Редакторы издательства:

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



В. И. Есев в качестве моториста-лодочника (1959 г.)

V. I. Yesev as a boat mechanic (1959)

даже официально оформлены документы блокадника. День победы Красной армии и советского народа над нацистской Германией в Великой Отечественной войне Василий встретил в Польше в звании лейтенанта медицинской службы.

Уже после победы Василий побывал в Берлине. И снова Василий чуть не попал в переплёт, когда он и его друзья решили податься в американскую оккупационную зону для обмена трофеями, но были остановлены советским военным патрулём. Патрульный офицер пожалел молодых безбашенных воинов-победителей и не стал ломать их судьбы. <...>

Всю войну мать Василия молилась за своего сына, просила о заступничестве Пресвятую Богородицу и святителя Николая Угодника, ходила на службу в Кочпонскую церковь, когда её вновь открыли для богослужений, не сла туда последнюю копейку. Молитвами матери или счастливым жребием Василий остался жив на той войне и вернулся домой только в 1946 году, так как ещё дослуживал в Монголии.

После возвращения домой Василий не стал связывать свою судьбу с медициной. Видимо, слишком тяжелы были воспоминания, связанные с войной, где ему, как медику, привелось всего насмотреться. В летние периоды с 1947 по 1949 год Василий трижды ездил в качестве временного сотрудника в полевые экспедиции с геологами эвакуированной ещё в 1941 году в Сыктывкар Базы Академии наук СССР по изучению Севера (в 1947 году с Н. Н. Кузькоковой и в 1948—1949 годы с М. В. Фишманом).

к. г.-м. н. Ю. В. Глухов



Продолжение рассказа и другие воспоминания о войне можно найти на сайте ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН https://geo.komisc.ru/science_results/scientific-publication/prochee/1231-80let-book

Компьютерная верстка

А. Ю. Перетягина

Выписка из реестра средств массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 30.06.2025. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6.5. Тираж 140. Заказ 1249. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес редакции: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru
На обложке использованы фото П. Безносова, А. Перетягина, Н. Уляшевой, А. Иевлева, Н. Сокериной