

Міністэрства прыродных рэсурсаў і аховы навакольнага асяроддзя Рэспублікі Беларусь

Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Навукова-вытворчы цэнтр па геалогіі»

ЛІТАСФЕРА

2 (59)

РЭДАКЦЫЙНАЯ КАЛЕГІЯ

А. А. Махнач (галоўны рэдактар), М. П. Аношка (намеснік галоўнага рэдактара),
С. У. Дзямідава (намеснік галоўнага рэдактара), Г. М. Бубнава (адказны сакратар),
М. А. Багдасараў, А. М. Галкін, Р. Г. Гарэцкі, Р. Э. Гірын, Я. Г. Грыбік, В. Г. Жогла, У. І. Зуй,
А. В. Кудзельскі, Я. А. Кухарык, А. В. Мацвеев, А. П. Мох, В. І. Пашкевіч, Г. В. Траццякова,
У. М. Шымановіч, П. А. Сахарук (тэхнічны рэдактар)

МІЖНАРОДНЫ РЭДАКЦЫЙНЫ САВЕТ

А. А. Махнач (старшыня, Беларусь), М. К. Абсаметаў (Казахстан), К. Я. Дзегцяроў (Расія),
С. К. Кузняцоў (Расія), А. Я. Лукін (Украіна), Л. Маркс (Польшча), Т. Перыт (Польшча),
А. У. Пятроў (Расія), С. Шляупа (Літва)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А. А. Махнач (главный редактор), С. В. Демидова (заместитель главного редактора),
М. П. Оношко (заместитель главного редактора), А. М. Бубнова (ответственный секретарь),
М. А. Богдасаров, А. Н. Галкин, Р. Г. Гарецкий, Р. Э. Гирин, Я. Г. Грибик, В. Г. Жогло, В. И. Зуй,
А. В. Кудельский, Е. А. Кухарик, А. В. Матвеев, О. П. Мох, В. И. Пашкевич, А. В. Третьякова,
В. М. Шиманович, П. О. Сахарук (технический редактор)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

А. А. Махнач (председатель, Беларусь), М. К. Абсаметов (Казахстан), К. Е. Дегтярёв (Россия),
С. К. Кузнецов (Россия), А. Е. Лукин (Украина), Л. Маркс (Польша), Т. Перит (Польша),
О. В. Петров (Россия), С. Шляупа (Литва)

EDITORIAL BOARD

A. Makhnach (Editor-in-Chief), M. Anoshka (Deputy Editor-in-Chief),
S. Dziamidava (Deputy Editor-in-Chief), A. Bubnova (Executive secretary), M. Bahdasarau, A. Galkin,
R. Garetsky, R. Giryn, Ya. Gribik, A. Kudzelsky, Ya. Kukharyk, A. Matsveeu, A. Mokh, V. Pashkevich,
U. Shymanovich, H. Tratsiakova, V. Zhogla, U. Zui, P. Sakharuk (technical editor)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A. Makhnach (Chairman, Belarus), M. Absametov (Kazakhstan), K. Degtyaryov (Russia),
S. Kuznecov (Russia), A. Lukin (Ukraine), L. Marks (Poland), T. Peryt (Poland),
O. Petrov (Russia), S. Shliaupa (Lithuania)

Фота на вокладцы: найбуйнейшы валун з группы валуноў «Быкі», якая знаходзіцца ў Барысаўскім раёне
Мінскай вобласці, на адлегласці прыблізна 500 м на паўночны захад ад в. Кімія Зембінскага сельсавета.

Валун складзены гранітам рапаківі, яго даўжыня складае 3,2 м, шырыня – 2,85 м, вышыня – 1,2 м.
Фота У. А. Крашынскага, архіў філіяла «Інстытут геалогіі» Дзяржаўнага прадпрыемства «НВІЦ па геалогіі»

ЛІТАСФЕРА

2 (59)

2023

Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Навукова-вытворчы цэнтр па геалогіі»
Навуковы часопіс, заснаваны ў лістападзе 1994 г. Выходзіць 2 разы ў год. Снежань 2023 года

ЗМЕСТ

■ ГЕАЛОГІЯ

В. В. Мурашка

КАНАДОНТЫ З ЛОХКАЎСКИХ АДКЛАДАЎ БЕЛАРУСКАЙ ЧАСТКІ ВАЛЫНСКАЙ МАНАКЛІНАЛІ (СВІДРАВІНА ТАМАШОЎКА 11) 4
У. І. Талсташэеў, П. А. Сахарук

СТРАТЫГРАФІЯ І КАРЭЛЯЦЫЯ АДКЛАДАЎ ВІЗЕЙСКАГА ЯРУСА НІЖНЯГА КАРБОНУ ў ПАЎНОЧНАЙ ЧАСТЦЫ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГИНУ 14

А. П. Гусеў, А. І. Паўлоўскі, С. У. Андрушка, В. Л. Малярэнка

АСАЕЛІВАСЦІ РАСПРАЦОЎКІ ЛІЧБАВАЙ МАДЭЛІ ЧАЦВЯРЦІЧНЫХ АДКЛАДАЎ ГОМЕЛЬСКАЙ ВОБЛАСЦІ 27

Г. В. Шыдлоўская

КАРОТКІ НАРЫС ГІСТОРЫІ ПАЛІНАЛАГЧЫХ ДАСЛЕДАВАННЯЎ БЕЛАВЕЖСКАГА ГАРЫЗОНТУ ПЛЕЙСТАЦЭНУ БЕЛАРУСІ 38

А. В. Маквеев

РЭЛЬЕФ ТЭРЫТОРЫІ ЦЭНТРАЛЬНАЙ БЕЛАРУСІ ў МУРАВІНСКАЕ МІЖЛЕДАВІКОЎЕ 47

В. У. Васіёва, У. Я. Волкаў, В. А. Бярозка, Т. А. Конанава, А. М. Чэравач, В. А. Буйневіч

РЭКАМЕНДАЦІІ ПА РАЦЫЯНАЛЬНЫМ ВЫКАРЫСТАННІ І АХОВЕ ПАДЗЕМНЫХ ВОД АД ВЫЧАРПАННЯ ў БЕЛАРУСКАЙ ЧАСТЦЫ БАСЕЙНА РАКІ ЗАХОДНІ БУГ 53

■ ГЕАХІМІЯ

А. А. Талкачыкава, А. А. Піскун, М. П. Гурыновіч, Н. С. Завадзіч, А. І. Крывалап

МІНЕРАЛАГА-ГЕАХІМЧНЫ АСАЕЛІВАСЦІ МЕТАСАМАТЫТАЎ КРЫШТАЛІЧНАГА ФУНДАМЕНТУ ЗАХАДУ БЕЛАРУСІ (УЧАСТАК «ЕЛЬНЯ») 61

А. А. Піскун

ПАТЭНЦЫЙНАЯ РУДАНОСНАСЦЬ РАННЕПРАТЭРАЗОЙСКИХ ГРАНІТОІДАЎ КРЫШТАЛІЧНАГА ФУНДАМЕНТУ ЗАХАДУ БЕЛАРУСІ 76

А. А. Махнач, Б. Г. Пакроўскі, В. В. Мурашка

ІЗАТОПЫ ВУГЛЯРОДУ І КІСЛАРОДУ ў АДКЛАДАХ ПАМЕЖНЫХ ГАРЫЗОНТАЎ НІЖНЯГА І СЯРЭДНЯГА ДЭВОНУ БЕЛАРУСІ 83

■ ГЕАФІЗІКА

Я. Г. Грыбік, Р. Г. Гарэцкі, Р. Э. Гірын, П. У. Шаблыка, С. Л. Сушкевіч, М. П. Гурыновіч, І. Л. Коласаў

ВЫНІКІ ГЕОЛАГА-ГЕАФІЗІЧНЫХ ДАСЛЕДАВАННЯЎ ЗЯМЛІ ЭНДЭРЫ (АНТАРКТЫДА) У 2021–2023 гг. 102

М. М. Прохараў, М. В. Рабовіч, А. М. Яфімаў

ВЫВУЧЭННЕ БУДОВЫ НАМЫЎНАЙ СОЛЕПЛІТЫ НА АДПРАЦАВАНЫМ ШЛАМАСХОВІШЧЫ МЕТАДАМІ ЭЛЕКТРАРАЗВЕДКІ 120

■ КАРЫСНЫЯ ВЫКАПНІ

А. С. Грудзінін

ЛІТОЛАГА-ФАЦЫЯЛЬНЫЯ АСАЕЛІВАСЦІ БУДОВЫ ПОЛАЦКАГА ГАРЫЗОНТУ І ЛАНСКАГА НАДГАРЫЗОНТУ РЭЧЫЦКАГА НАФТАВАГА РАДОВІШЧА ПРЫПЯЦКАГА ПРАГИНУ 130

А. А. Цыганкоў, А. А. Чэкан, А. А. Кудрашоў

ПЕРШЫ ВОПЫТ ЗАПАМПОЎВАННЯ ВАДЫ ў НІЗКАПРАНІКАЛЬНЫЯ КАЛЕКТАРЫ НЕТРАДЫЦЫЙНАГА ТЫПУ ДЛЯ ПАВЕЛЧЭННЯ НАФТААДДАЧЫ НА ПРЫКЛАДЗЕ ЯЛЕЦКА-ПЕТРЫКАЎСКІХ АДКЛАДАЎ РЭЧЫЦКАГА РАДОВІШЧА 138

■ ПАПУЛЯРЫЗАЦЫЯ ГЕАЛОГІІ

К. Ю. Балашоў, А. М. Балашова

ДОСВЕД СТВАРЭННЯ ВУЧЭБНАЙ КАЛЕКЦЫІ МІНЕРАЛАЎ, ГОРНЫХ ПАРОДІ ПАЛЕАНТАЛАГЧЫХ АСТАТКАЎ ДЛЯ ШКОЛЬНАГА ГЕАЛАГЧЫНА МУЗЕЯ ў ГОРАДЗЕ МІНСКУ 148

■ ЮБІЛЕІ

Радзім Гаўрылавіч Гарэцкі (да 95-годдзя з дня нараджэння) 155

Ядвіга Іванаўна Аношка (да 80-годдзя з дня нараджэння)

■ ПАМЯЦІ ВУЧОНАГА 160

Ганна Баліславаўна Місунा (да 155-годдзя з дня нараджэння)

Мікалай Фёдаравіч Бладуха (да 145-годдзя з дня нараджэння)

Аляксандар Сямёновіч Махнач (да 105-годдзя з дня нараджэння)

Анатоль Міхайлавіч Пап (да 100-годдзя з дня нараджэння)

Жазэф Паўлавіч Хацько (да 100-годдзя з дня нараджэння)

Ромма Яфімавіч Айзберг (да 90-годдзя з дня нараджэння)

Эдуард Аляксандравіч Высоцкі (да 80-годдзя з дня нараджэння)

■ ХРОНІКА 170

■ РЭЦЭНЗІI 175

■ НАВІНКІ ЛІТАРАТУРЫ 177

■ ПРАВІЛЫ ДЛЯ АЎТАРАЎ 179

ЛІТАСФЕРА

2 (59)

2023

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный центр по геологии»
Научный журнал, основанный в ноябре 1994 г. Выходит 2 раза в год. Декабрь 2023 года

Republican unitary enterprise «Research and Production Center for Geology»
Scientific Journal set up in November, 1994 is published two times a year. December 2023

СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

■ ГЕОЛОГИЯ – GEOLOGY

О. Мурашко (О. В. Мурашко)

CONODONTS FROM THE LOCHKOVIAN SEDIMENTS OF THE BELARUSIAN PART OF THE VOLYN MONOCLINE
(ТОМАШОВКА 11 БОРЕНОК) (КОНОДОНТЫ ИЗ ЛОХКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БЕЛАРУССКОЙ ЧАСТИ ВОЛЫНСКОЙ
МОНОКЛИНАЛИ (СКВАЖИНА ТОМАШОВКА 11)) 4

В. И. Толстощеев, П. О. Сахарук

СТРАТИГРАФИЯ И КОРРЕЛЯЦІЯ ОТЛОЖЕНИЙ ВІЗЕЙСКОГО ЯРУСА НИЖНЕГО КАРБОНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИПЯТСКОГО
ПРОГІБА 14

А. П. Гусев, А. И. Павловский, С. В. Андрушко, В. Л. Моляренко

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ 27

А. В. Шидловская

КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОВЕЖСКОГО ГОРИЗОНТА ПЛЕЙСТОЦЕНА БЕЛАРУСИ 38

А. В. Матвеев

РЕЛЬЕФ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БЕЛАРУСИ В МУРАВИНСКОЕ МЕЖЛІДНИКОВЬЕ 47

О. В. Васнецова, В. Е. Волков, О. А. Берёзко, Т. А. Кононова, Е. М. Черевач, О. А. Буйневич

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО РАЦІОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАННЮ И ОХРАНЕ ПОДЗЕМНИХ ВОД ОТ ИСТОЩЕНИЯ В БЕЛАРУССКОЙ
ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ 53

■ ГЕОХИМИЯ – GEOCHEMISTRY

А. А. Толкачикова, О. А. Пискун, М. П. Гуринович, Н. С. Завадич, О. И. Криволап

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТИТОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ЗАПАДА БЕЛАРУСИ
(УЧАСТОК «ЕЛЬНЯ») 61

О. А. Пискун

ПОТЕНЦІАЛЬНА РУДОНОСНОСТЬ РАННЄПРОТЕРОЗОЙСКИХ ГРАНІТОІДОВ КРИСТАЛЛІЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ЗАПАДА
БЕЛАРУСИ 74

А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко

ІЗОТОПЫ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ОТЛОЖЕНИЯХ ПОГРАНИЧНЫХ ГОРИЗОНТОВ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ДЕВОНА БЕЛАРУСИ 83

■ ГЕОФІЗИКА – GEOPHYSICS

Я. Г. Грибик, Р. Г. Гарецкий, Р. Э. Гирин, П. В. Шаблыко, С. Л. Сушкевич, М. П. Гуринович, И. Л. Колосов

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛІ ЭНДЕРБІ (АНТАРКТИДА) В 2021–2023 рр. 102

Н. Н. Прохоров, Н. В. Рябович, А. М. Ефимов

ІЗУЧЕННЯ СТРОЕНИЯ НАМЫВНОЇ СОЛЕПЛІТИ на отработанном шламохранилище методами електроразведки 120

■ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ – MINERAL RESOURCES

А. С. Грудинин

ЛІТОЛОГО-ФАЦІАЛЬНІ ОСОБЕННОСТІ СТРОЕНИЯ ПОЛОЦЬКОГО ГОРИЗОНТА И ЛАНСКОГО НАДГОРИЗОНТА РЕЧИЦЬКОГО
НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕННЯ ПРИПЯТСКОГО ПРОГІБА 130

А. О. Цыганков, А. О. Чекан, А. А. Кудряшов

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ЗАКАЧКИ ВОДЫ В НІЗКОПРОНИЦАЕМЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ НЕТРАДИЦІОННОГО ТИПА ДЛЯ УВЕЛІЧЕННЯ
НЕФЕТОДАЧИ НА ПРИМЕРЕ ЕЛЕЦЬКО-ПЕТРИКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕЧИЦЬКОГО МЕСТОРОЖДЕННЯ 138

■ ПОПУЛЯРИЗАЦІЯ ГЕОЛОГІИ – POPULARIZATION OF GEOLOGY

К. Ю. Балацов, А. М. Балацова

ОПЫТ СОЗДАНИЯ УЧЕБНОЙ КОЛЛЕКЦІИ МІНЕРАЛІВ, ГОРНÝХ ПОРОД И ПАЛЕОНТОЛОГІЧСКИХ ОСТАТКОВ
ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО МУЗЕЯ В ГОРОДЕ МІНСКЕ 148

■ ЮБІЛЕІ – ANNIVERSARIES

Радим Гаврилович Гарецкий (к 95-летию со дня рождения)

Ядвиги Ивановны Аношко (к 80-летию со дня рождения)

160

■ ПАМЯТИ УЧЕНОГО – IN MEMORIAM

Анна Болеславовна Миссуня (к 155-летию со дня рождения)

Николай Федорович Блиодухо (к 145-летию со дня рождения)

Александр Семенович Махнач (к 105-летию со дня рождения)

Анатолий Михайлович Пап (к 100-летию со дня рождения)

Жозеф Павлович Хотъко (к 100-летию со дня рождения)

Ромма Ефимович Айзберг (к 90-летию со дня рождения)

Эдуард Александрович Высоцкий (к 80-летию со дня рождения)

170

■ ХРОНИКА – CHRONICLE

175

■ РЕЦЕНЗІИ – REVIEWS

177

■ НОВИНКИ ЛІТЕРАТУРЫ – NEW LITERATURE

179

■ ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ – AUTHOR GUIDELINES

179

ГЕАЛОГІЯ

UDC 566/569(476)

CONODONTS FROM THE LOCHKOVIAN SEDIMENTS OF THE BELARUSIAN PART OF THE VOLYN MONOCLINE (TOMASHOVKA 11 BOREHOLE) O. Murashko

State Enterprise “Research and Production Center for Geology”
Branch “Institute of Geology”
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: volum@tut.b

This paper presents new data on conodonts from the Lower Devonian Lochkovian sediments recovered by Tomashovka 11 borehole drilled in the territory of Belarus, in the northwestern part of the Volyn Monocline. A number of conodont taxa previously unknown in the country have been identified: Zieglerodina mashkovae (Drygant), Z. formosa (Drygant), Z. remsciedensis (Ziegler), Pandorinellina camelfordensis (Farrell), Wurmiella excavata maxima (Drygant), Caudicriodus hadnagyai (Chatterton et Perry). The most important for stratigraphic purposes are Pandorinellina camelfordensis (Farrell), that is the marker of the Borshchovo Horizon, and Wurmiella excavata maxima (Drygant), that is among the index species of the Cypricriodus hesperius Zone. All identified conodont taxa from the assemblage prove the Early Lochkovian age of sedimentation for the studied part of the section.

Keywords: Belarus, Volyn Monocline, conodonts, Lochkovian sediments, Lower Devonian.

INTRODUCTION

Sediments of the Lochkovian Stage of the Lower Devonian, represented by the Borshchovo and Chortkov Horizons, are distributed in the southwestern part of Belarus within the Podlasiie-Brest Depression and the Volyn Monocline (fig. 1). Conodont elements of this age were found in three boreholes: Tomashovka 11 (Volyn Monocline); Orlia 28 and Rataichitsy 12 (Podlasiie-Brest Depression) [25; 30; 31].

Borehole Tomashovka 11 was drilled in 1968 near the village of Tomashovka in Brest region (see fig. 1). The Lower Devonian sediments occur in the depth interval of 408.0–487.2 m, overlie the rocks of the Kustin Horizon of the Pridolian Stage (Upper Silurian), and are covered by deposits of the Visean Stage (Lower Carboniferous). The stratigraphic range of the studies includes clay-carbonate rocks of Domachevo Formation and the lower part of Dubitsa Formation of the Borshchovo Horizon, as well as claymarl rocks of the upper part of the Dubitsa Formation and the Orkhov Formation of the Chortkov Horizon (fig. 2).

Paleontological studies of the core from borehole Tomashovka 11 were previously held by V. N. Karatayūtė-Talimaa, J. J. Valiukevičius, S. A. Kruchek, T. Mārss and D. P. Plax [8; 9; 15; 32]. In this article, the author presents the results of the revision of the Lower Devonian conodont collection from this borehole, that made it possible to update the taxonomic composition and supplement information

on Lochkovian vertebrates. The collection was amassed by S. A. Kruchek in the 1970s, it is stored in the Department of Stratigraphy and Tectonics, branch “Institute of Geology” of the State Enterprise “Research and Production Center for Geology”, it includes 398 conodont elements from 40 rock samples. Photos of the elements are taken with a stereoscopic microscope Chongqing Optec SZ780.

RESULTS AND DISCUSSION

Sediments of the Domachevo **Formation of the Borshchovo Horizon** (Lochkovian Stage) occur in the depth interval of 454.0–487.2 m, overlie the rocks of Kustin Horizon of the Pridolian Stage (Upper Silurian) and are covered by the rocks of Dubitsa Formation of the Borshchovo Horizon. Numerous badly preserved conodont elements were found in greenish-gray and light-gray marls. Most of them are represented by *Zieglerodina* species. *Zieglerodina mashkovae* (Drygant), a transit species for the Lochkian Stage, was reliably established here, color index of elements is 1–2 (Plate I). Together with conodonts, remains of single corals, brachiopods, tentaculites, thelodonts, acanthodians; bryozoans, crinoids, calcareous algae were found there [15; 32; 33].

Sediments of the **lower part of the Dubitsa Formation of the Borshchovo Horizon** (Lochkovian Stage) occur in the depth interval of 429.2–454.0 m. Numerous taxonomically diversified conodont elements of varying degrees of preservation were found

in a member of greenish-gray marls and biomorphic limestones: *Zieglerodina mashkovae* (Drygant), *Z. formosa* (Drygant), *Z. remsciedensis* (Ziegler); *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell); *Wurmella excavata maxima* (Drygant); *Caudicriodus hadnagy* (Chatterton et Perry), color index of elements is 1–2 (Plates I, II).

Together with conodont elements, the sediments of this part of the section contain shells of gastropods, bivalves, tentaculites, brachiopods, scales of thelodonts, and acanthodians; colonies of bryozoans, numerous segments of crinoids, calcareous algae [15].

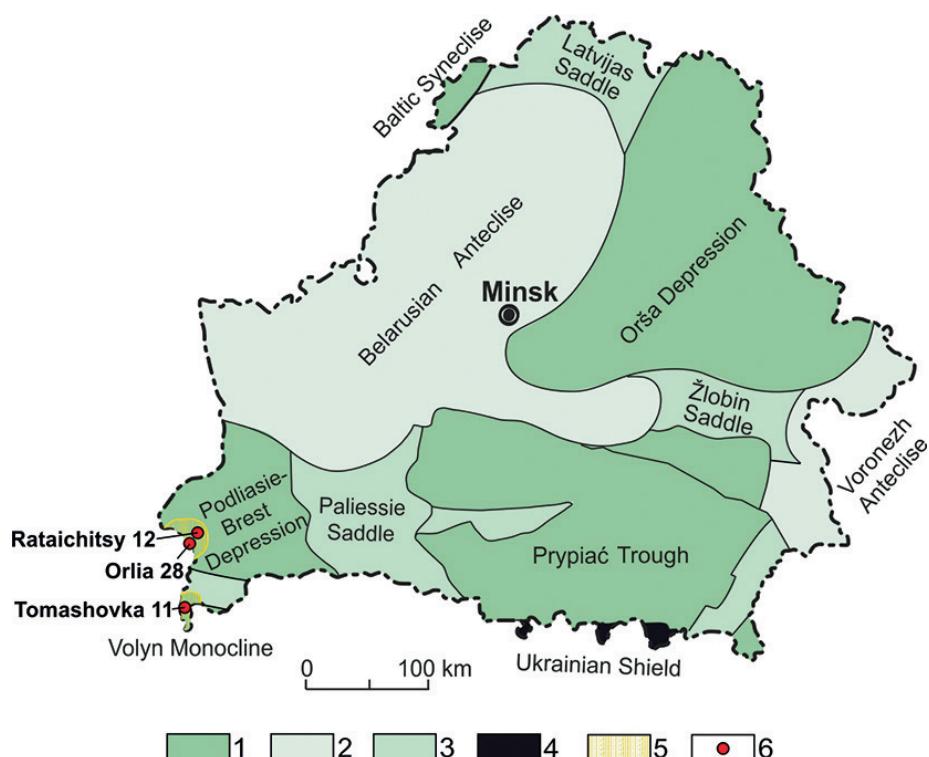


Figure 1 – Tectonic map of Belarus showing the location of boreholes where the Lochkovian conodonts were found [25]:
1 – troughs, depressions, syneclyses; 2 – anteclyses; 3 – saddles, uplifts, horsts;
4 – crystalline shield; 5 – distribution of the Lochkovian sediments; 6 – borehole

Rocks of the upper part of the Dubitsa Formation of the Chortkov Horizon of the Lochkovian Stage (416.5–429.2 m) also contain conodont elements. *Zieglerodina remsciedensis* (Ziegler), *Z. formosa* (Drygant), *Caudicriodus hadnagy* (Chatterton et Perry) were found in a member of greenish-gray marls and organogenic limestones (see Plates I, II), color index of elements is 1–2.

Together with conodonts the fragments of crinoids, single shells of gastropods, tentaculites, numerous brachiopod shells, scales of thelodonts, placoderms, acanthodians, chondrichthyans; remains of bryozoans were found within these rocks [15].

The species *Zieglerodina mashkovae* (Drygant) is typical for *Cypricriodus hesperius* – *Caudicriodus serus* Zones; *Zieglerodina remsciedensis* (Ziegler), *Z. formosa* (Drygant) and *Caudicriodus hadnagy* (Chatterton et Perry) occur in *Cypricriodus hesperius* – *Caudicriodus transiens* Zones; *Wurmella excavata maxima* (Drygant) and *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell) are found only in *Cypricriodus hesperius* Zone [3; 5; 23]. Thus, the conodont assemblage found in the deposits of the

Cypricriodus and Dubitsa Formations corresponds to the *Caudicriodus hesperius* Zone.

According to the conodont and ichthyofauna data, sediments of the Domachevo and the lower part of Dubitsa Formations of the Borshchovo Horizon correspond to the lower part of the Tilžė Horizon of the Baltic States, the lower part of the Ovinparma Horizon of the Timan-Pechora Province, the Borshchovo Horizon of the Volyn-Podolia region, the lower part of the Rauchkofel Formation of the Carnic Alps [3; 5; 14; 15; 20; 21; 26].

The Lower Devonian section is terminated by sediments of the Orkhov Formation of the Chortkov Horizon (Lochkovian Stage); conodont elements are not found there. According to the ichthyofauna data, rocks of the upper part of the Dubitsa and Orkhov Formations of the Chortkov Horizon correspond to the upper part of the Tilžė Horizon of the in the Baltic States; the upper part of the Ovinparma Horizon of the Timan-Pechora region, the Chortkov Horizon of Volyn-Podolia [5; 14; 15; 20; 21; 26].

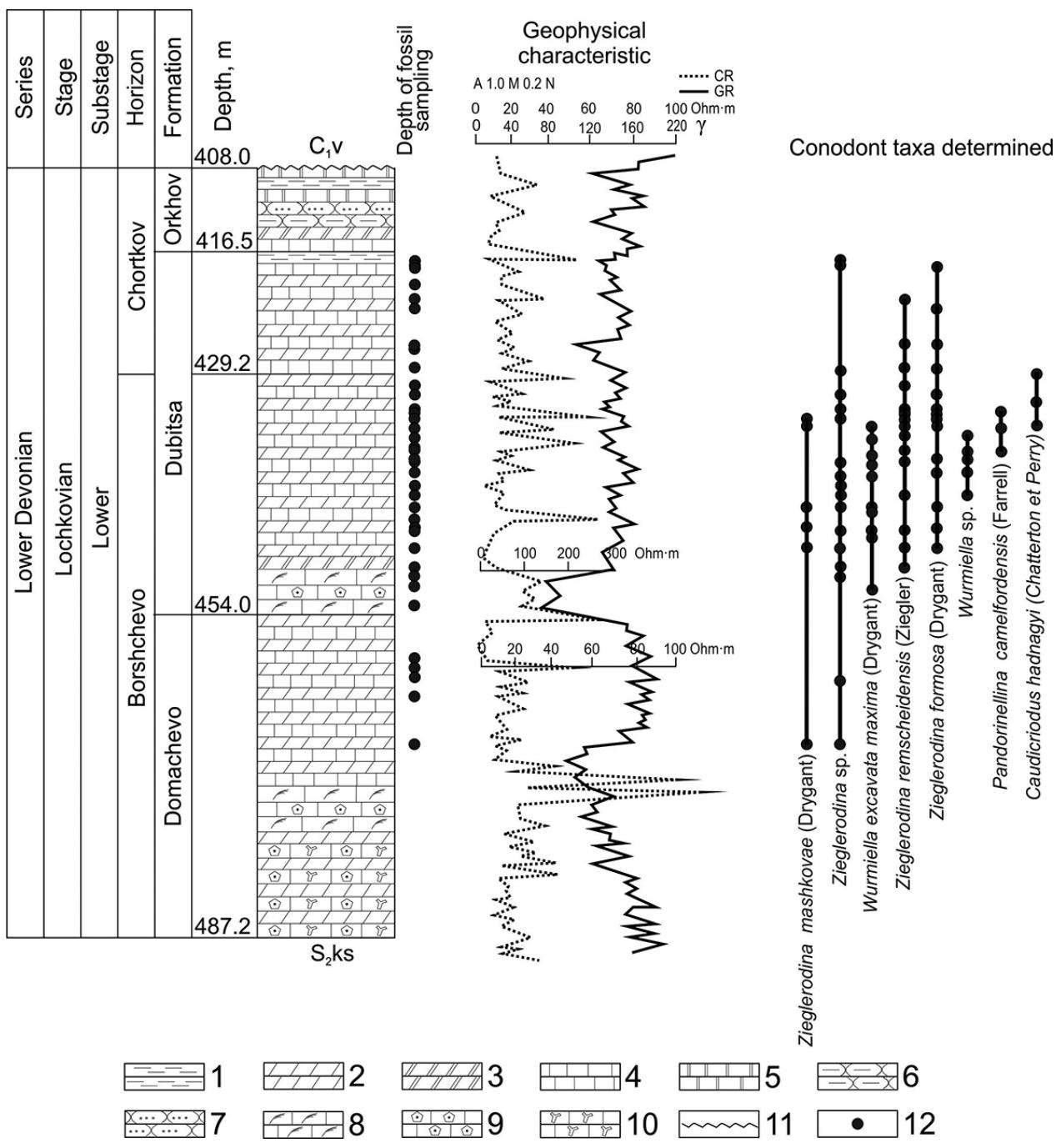


Figure 2 – Distribution of conodonts in the Lower Devonian sediments of the Tomashovka 11 borehole:

1 – clays; 2 – marls; 3 – dolomite marls; 4 – limestones; 5 – dolomites; 6 – clayey sandstones;
7 – sandstones; 8 – algal limestones; 9 – crinoidal limestones; 10 – bryozoan limestones;

11 – discontinuity surfaces; 12 – sampling site. Stratigraphic units:

S₂ks – Kustin Horizon of the Pridolian Stage (Upper Silurian);

C₁v – Visean Stage (Lower Carboniferous)

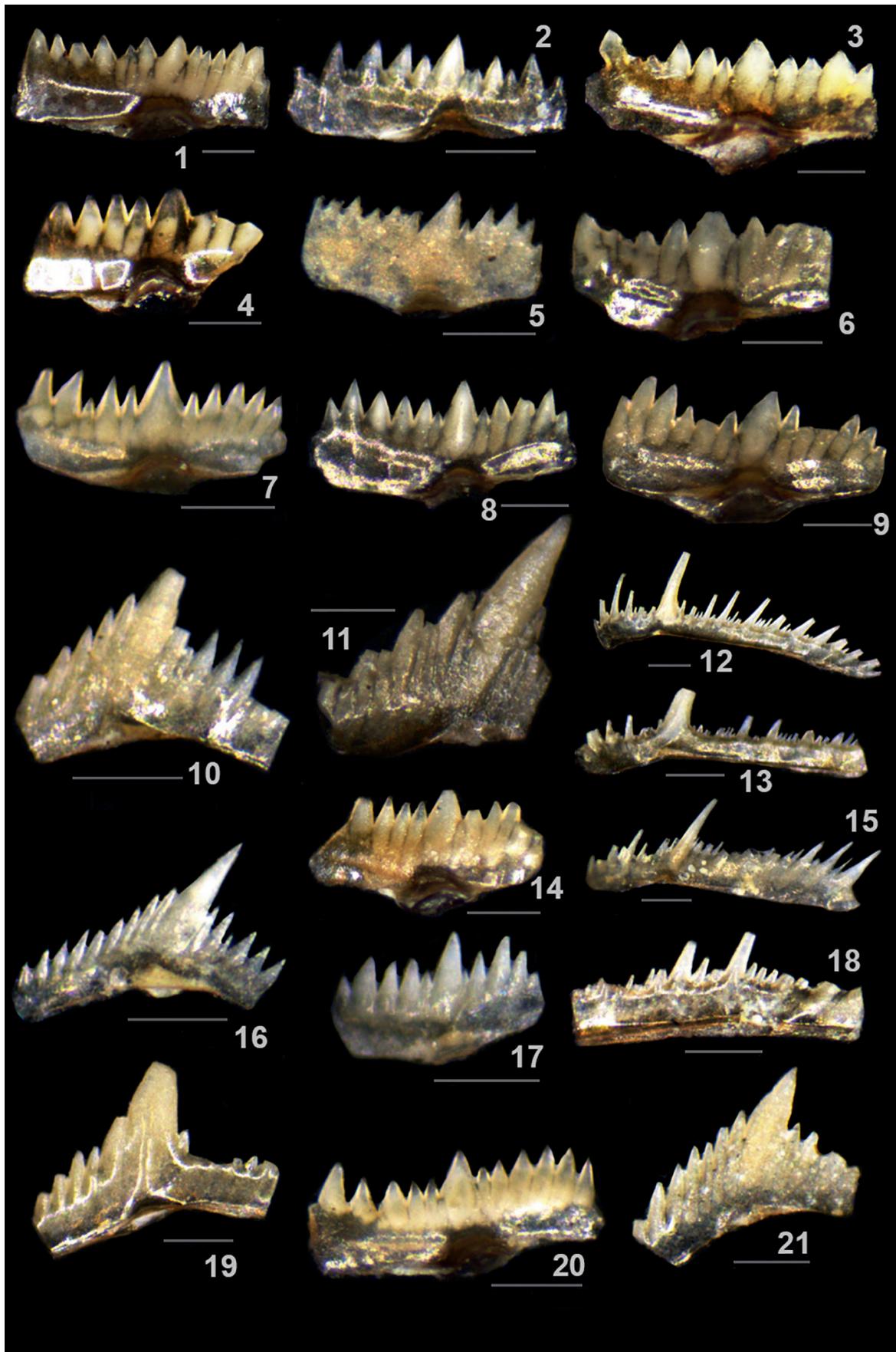


Plate I

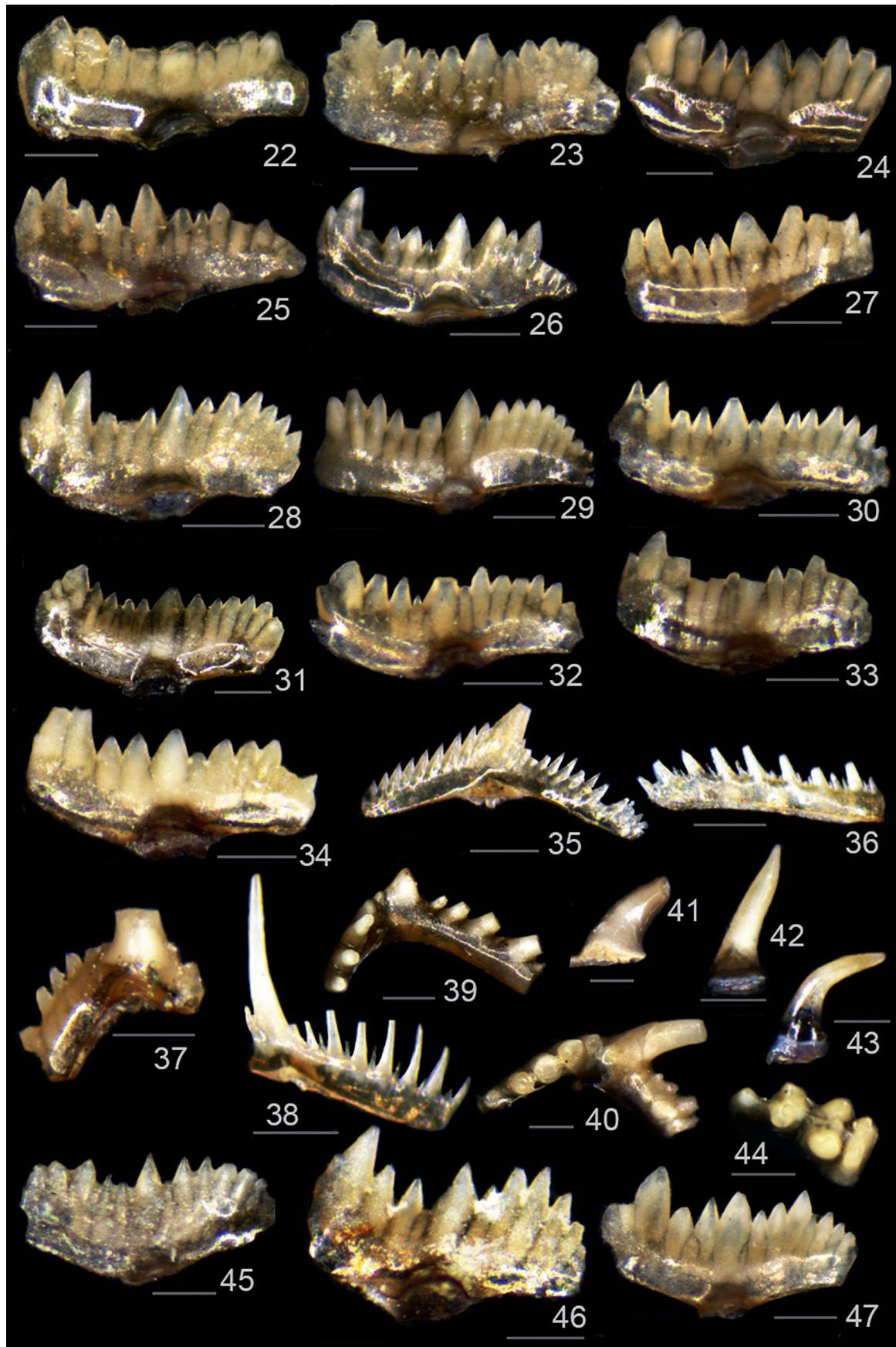


Plate II

EXPLANATION OF PLATES I, II
Scale bar of 0.2 mm

1–4 – *Zieglerodina mashkovae* (Mashkova, 1972): 1 – depth of 434.0 m; 2 – depth of 434.8 m; 3 – depth of 443.2 m; 4 – depth of 445.3 m.

5–21 – *Zieglerodina remsciedensis* (Ziegler, 1960): 5 – depth of 432.9 m; 6, 11, 14 – depth of 434.0 m; 7, 12, 13, 15–17, 20 – depth of 434.8 m; 8 – depth of 443.2 m; 9 – depth of 433.6 m; 10 – depth of 421.6 m; 18 – depth of 442.0 m; 19, 21 – depth of 437.3 m.

22–34 – *Zieglerodina formosa* Drygant, 2010: 22 – depth of 418.2 m; 23 – depth of 422.5 m; 24–25 – depth of 428.7 m; 26 – depth of 433.6 m; 27–29 – depth of 434.0 m; 30 – depth of 434.8 m; 31 – depth of 438.2 m; 32 – depth of 439.6 m; 33 – depth of 445.3 m; 34 – depth of 445.7 m.

35–40 – *Wurmella excavata maxima* (Drygant, 1984): 35–36 – depth of 434.8 m; 37 – depth of 445.5–449.6 m; 38 – depth of 443.2 m; 39–40 – depth of 445.3 m.

41–44 – *Caudicriodus hadnayi* (Chatterton and Perry, 1977): 41 – S-element, depth of 428.7 m; 42–43 – S-element, depth of 431.5 m; 44 – Pa-element, depth of 434.0 m.

45–47 – *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004): 45 – depth of 433.3 m; 46 – depth of 437.3 m; 47 – depth of 434.0 m.

SYSTEMATIC PALAEONTOLOGY

Systematic notes include essential taxonomic description; synonymy lists are limited to main captions. Suprageneric classification is proposed by W. Sweet [18].

Phylum Chordata Bateson, 1886
 Class Conodonta Pander, 1856
 Order Ozarkodinida Dzik, 1976
 Family Spathognathodontidae Hass, 1959
 Genus *Zieglerodina* Murphy, Valenzuela-Ríos and Carls, 2004
 Species *Zieglerodina remsciedensis* (Ziegler, 1960)
 Plate I, fig. 5–21.

1960 *Spathognathodus remsciedensis* n. sp.; Ziegler 1960 [24]: 194, pl. 13: 1, 2, 4, 5, 7 (non pl. 13: 8, 10, 14).

1972 *Ozarkodina steinhornensis remsciedensis* (Ziegler, 1960); Mashkova 1972 [11]: 83, pl. 2: 19–21, 23, 24 (non pl. 2: 22).

1984 *Spathognathodus eosteinhornensis* Walliser; Drygant 1984 [27]: 123, pl. 13: 5–8, 11, 12, 15.

1990 *Ozarkodina remsciedensis remsciedensis* (Ziegler, 1960); Olivieri and Serpagli 1990 [13]: pl. 4: 10.

Non 2005 *Ozarkodina remsciedensis* (Ziegler, 1960); Barrick et al. 2005 [1]: 120, pl. 1: 1 (=?), 2 (=?) *planilingua* [Murphy and Valenzuela-Ríos, 1999 [12]], 9, 10 (=?); pl. 2, fig. 8 (= *Z. prosoplatys* Mawson, Talent, Molloy and Simpson, 2003 [16]).

2010 *Zieglerodina remsciedensis* (Ziegler, 1960); Drygant 2010 [26]: 49, pl. 1: 1–10, 12.

2012 *Zieglerodina remsciedensis* (Ziegler, 1960); Drygant 2012 [5]: 853, fig. 8N, O, 12A–G.

Material: 74 elements from the rocks of Dubitsa Formation; samples from depths of 421.6; 426.2; 428.7; 430.5; 431.5; 432.9; 433.3; 433.6; 434.0; 434.8; 435.8; 437.3; 438.5; 442.0; 445.7; 447.6; 449.5 m.

Description: typical Pa-elements are characterized by an elongated (0.9–1.3 mm) and high (0.2–0.35 mm) blade with straight lower margin, a noticeably higher

cusp and two–four denticles at the anterior part. The basal cavity is located closer to the posterior end of the blade. In specimens of earlier forms (Silurian–Devonian boundary) the height of the anterior denticles and cusp doesn't differ significantly from the rest ones.

Stratigraphic and geographic range: Upper Silurian – Lower Lochkovian; the very top of the *Delotaxis detorta* – *Caudicriodus postwoschmidtii* Zones; Borshchovo and Chortkov Horizons of Volyn-Podolia (Belarus, Ukraine), Carnic Alps (Austria, Italy), Rhenish Slate Mountains, Haragan Formation in Oklahoma, Road River Formation in the Canadian Cordillera, Barrandia Region in the Czech Republic and Poland, New South Wales Australia [3–5].

Species *Zieglerodina mashkovae* (Drygant, 1984)

Plate I, fig. 1–4.

1971 *Spathognathodus* sp. nov.; Mashkova 1971 [29]: pl. 3: 11, 14.

1979 *Ozarkodina remsciedensis remsciedensis* (Ziegler); Lane and Ormiston 1979 [10]: pl. 1: 18, 34.

1984 *Spathognathodus mashkovae* sp. n.; Drygant 1984 [27]: 125, pl. 14: 10, 11, 13–21 (non 12 = *Pandorinellina? formosa* Drygant).

1994 *Ozarkodina eladioi* n. sp.; Valenzuela-Ríos 1994 [19]: 59, pl. 5: 1–35.

2010 *Zieglerodina mashkovae* (Drygant); Drygant 2010 [26]: 53, pl. 1: 18–20.

2012 *Zieglerodina mashkovae* Drygant 2010; Drygant 2012 [5]: 853, fig. 12H, I, J.

2016 *Zieglerodina mashkovae* Drygant 2010; Corriga et al. 2016 [3] fig. 5C–E.

Material: 25 elements from the rocks of Domachevo and Dubitsa Formations; samples from depths of 431.5; 432.9; 434.0; 434.8; 443.2; 445.3; 445.7; 447.6; 467.4–468.7 m.

Description: Pa-elements of the species are characterized by a short (0.6–0.7 mm) and low (0.2 mm)

blade with straight lower and upper margins; cusp substantially higher and larger than other denticles, straight or slightly inclined backwards. From both sides of cusp, there are 5–7 low, almost equal in height denticles, which become wider in the posterior part and slightly inclined backwards. Basal cavity with circular, symmetrical lips is located in the at mid-length or slightly shifted towards the posterior end.

Comparison: it differs from ancestral species *Zieglerodina remscheidensis* (Ziegler, 1960), *Z. repetitor* (Carls and Gndl, 1969) and *Z. serrula* (Drygant, 1984) with a shorter and higher blade, larger cusp, different widths of denticles on the anterior and posterior parts, as well as the location of the basal cavity in the center of the lower margin.

Stratigraphic and geographic range: Lochkovian Stage, *Cypricriodus hesperius* – *Caudicriodus serus* Zones; Borshchovo and Chortkov Horizons in Volyn-Podolia (Belarus, Ukraine), Carnic Alps (Austria, Italy), Pyrenees, Iberian Mountains, Sierra de Guadarrama (Spain) [3–5].

Species *Zieglerodina formosa* (Drygant, 2010)

Plate II, fig. 22–34.

1971 *Spathognathodus steinhornensis* subsp. nov. aff. sp. *Steinhornensis remscheidensis* Ziegler; Mashkova 1971 [29]: pl. 3: 10.

1984 *Spathognathodus remscheidensis* Ziegler; Drygant 1984 [27]: pl. 13: 28, pl. 14: 4.

1984 *Spathognathodus mashkova* sp. n.; Drygant 1984 [27]: pl. 14: 12.

2010 *Pandorinellina formosa* nov. sp.; Drygant 2010 [26]: 54, pl. 1: 25.

2012 *Pandorinellina? formosa* Drygant 2010; Drygant 2012 [5]: fig. 12K, M, N, P–R.

2016 *Zieglerodina formosa* (Drygant 2010); Corriga et al. 2016 [3] fig. 5M.

Material: 30 elements from the rocks of Dubitsa Formation; samples from depths of 418.2; 422.5; 426.2; 428.7; 431.5; 432.9; 433.6; 434.0; 434.8; 438.2; 439.6; 443.2; 445.3 m.

Description: Pa-elements of the species are characterized by a comparatively long (0.8–1.1 mm) sigmoidal blade, twisted up in the anterior part, and down in the posterior. Denticles are low, with wide basis; cusp is slightly larger than the adjacent ones. Three or four denticles in the anterior part of the element are higher than other, slightly bowed backwardly or rarely increasing rapidly and erect. Basal cavity is located at mid-length or a bit closer to the posterior end.

Comparison: differs from similar *Zieglerodina remscheidensis* (Ziegler, 1960) by sigmoidal blade; from *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell) by deeper and wider basal cavity, and by larger and rounded cavity lips.

Stratigraphic and geographic range: Lower–Middle Lochkovian, *Cypricriodus hesperius* – *Caudicriodus transiens* Zones; Borshchovo and Chortkov Horizons in Volyn-Podolia (Belarus, Ukraine), Carnic Alps (Austria, Italy) [3–5].

Genus *Pandorinellina* Müller et Müller, 1957

Species *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004)

Plate II, fig. 45–47.

2003 *Ozarkodina cf. canadensis* (Walliser); Farrell [6], pl. 7, fig. 3–10.

2004 *Ozarkodina camelfordensis* sp. nov. Farrell [7], p. 966, pl. 7, fig. 1–14.

2010 *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004); Drygant 2010 [26], p. 54.

2021 *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004); Zhen 2021 [23]: Fig. 4, a.

Material: 3 elements from the rocks of Dubitsa Formation; samples from depths 433.3; 434.0; 437.3 m.

Description: Pa-elements of are characterized by a sigmoidal blade, the anterior part is straight or rounded. 8–12 denticles of mostly triangular shape vary in height and size. The second denticle in the anterior margin is usually higher than the others, almost equal in height of cusp. Posterior section of blade contains 1–2 large denticles with smaller denticles towards posterior extremity. The basal cavity is deep, located in the mid-length or slightly shifted to the posterior section.

Stratigraphic and geographic range: Lower–Middle Lochkovian, *Cypricriodus hesperius* Zone; Borshchovo Horizon in Volyn-Podolia (Belarus, Ukraine), New South Wales (Australia) [5; 23; 26].

Genus *Wurmiella* Murphy, Valenzuela-Ríos and Carls, 2004

Species *Wurmiella excavata maxima* (Drygant, 1984)

Plate II, fig. 35–40.

1960 *Spathognathodus* n. sp.; Walliser 1960 [22]: 35, pl. 8: 7.

1968 *Spathognathodus inclinatus inclinatus* (Rhodes); Drygant 1968 [28]: 51, fig. 24, 25.

1980 *Ozarkodina wurmi* (Bischoff and Sannemann); Schünlaub 1980 [17]: pl. 19: 17.

1984 *Spathognathodus inclinatus maximus* ssp. n.; Drygant 1984 [27]: 122, pl. 10: 17, 18.

2005 *Ozarkodina wurmi* (Bischoff and Sannemann); Barrick et al. 2005 [1]: pl. 2: 15.

2010 *Wurmiella excavata maxima* (Drygant, 1984); Drygant 2010 [26]: 55.

2012 *Wurmiella excavata maxima* (Drygant, 1984); Drygant 2012 [5]: 858.

Material: 17 elements from the rocks of Dubitsa Formation; samples from depths 434.8; 435.8; 437.3; 438.2; 438.5; 439.6; 443.2; 445.3; 445.7; 451.5 m.

Description: elements of the species are characterized by a long, low, thick, arched blade (blade length up to 1.7 mm, height up to 0.27 mm); wedge-shaped, high denticles up to 0.3 mm; and significantly larger cusp size. Basal cavity is small and shallow.

Comparison: differs from the other *Wurmella* species in its large size and arcuate blade.

Stratigraphic and geographic range: Lower–Middle Lochkovian, *Cypricriodus hesperius* Zone in Volyn–Podolia (Belarus, Ukraine) and Barrandia Region (the Czech Republic and Poland); *Laneaomoalpina* Zone in West Texas, Southerland River Formation of Devon Island (Canadian Arctic Archipelago) [4; 5; 26].

Family Icriodontidae Müller and Müller, 1957

Genus *Caudicriodus* Bulytnck, 1976

Species *Caudicriodus hadnagyi* (Chatterton and Perry, 1977)

Plate II, fig. 41–44.

1977 *Icriodus hadnagyi* n. sp.; Chatterton and Perry 1977 [2]: 792, pl. 4: 10–22.

2010 *Caudicriodus hadnagyi* (Chatterton and Perry, 1977); Drygant 2010 [26]: 59, pl. 3: 4, 5.

2012 *Caudicriodus hadnagyi* (Chatterton and Perry, 1977); Drygant 2012 [5]: 848, pl. 10.

Material: 4 elements from the rocks of Dubitsa Formation; samples from depths 428.7; 431.5; 434.0 m.

Description: Pa-elements are short, with two cusps in the posterior part; basal cavity has a narrow anterior part and a sharp posterolateral expansion; the narrow upper surface may consist of three rows of denticles in transverse ridges, or of unevenly spaced median denticles without lateral rows.

Remark. Elements of the species are highly variable. Pa-elements vary from pelekysgnatidae to icryodidae forms. S-elements range from rounded simple cones to slightly flattened and almost crescent-shaped, the basal

cavity may be rounded, subtriangular or subsquare. The degree of curvature of the denticles is also different.

Comparison: The Pa-elements of this species differ from the closest *Caudicriodus ruthmawsonae* Drygant by the presence of a prominent cusp, weakly developed inner lobe and expanded basal cavity in its middle part.

Stratigraphic and geographic range: Lower Lochkovian; the upper part of *Cypricriodus hesperius* Zone, the lower part of the *Caudicriodus transiens* Zone; the upper part of the Borshchovo Horizon and the lower part of the Chortkov Horizon in Volyn–Podolia (Belarus, Ukraine), Delorme Formation of Northwestern Canada [5].

CONCLUSIONS

Conodont studies of the sediments of the Domachevo and Dubitskaya Formations (Borshchovo and Chortkov Horizons, Lower Lochkovian, Lower Devonian) of the Tomashovka 11 section made it possible to identify a number of taxa that were not previously known on the territory of Belarus: *Zieglerodina mashkovae* (Drygant), *Z. formosa* (Drygant), *Z. remscheidensis* (Ziegler), *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell), *Wurmella excavata maxima* (Drygant), *Caudicriodus hadnagyi* (Chatterton et Perry). Such assemblage is specific for the *Cypricriodus hesperius* Zone.

The conodont data presented in this paper supplement the information on the taxonomic composition, paleogeographic and stratigraphic distribution of vertebrates in the Lower Devonian sediments in the southwest of Belarus, and allow correlations with synchronous deposits of the adjacent territories of the Ukraine as well as with more remote region of Carnic Alps.

ACKNOWLEDGMENTS

The author expresses her deep gratitude to Dr. A. A. Makhnach (Institute of Geology, Minsk) and Ph.D. D. P. Plax (Belarusian National Technical University, Minsk) for discussion of the materials and constructive comments that have significantly improved this publication.

REFERENCES

1. Barrick, J. E. The Silurian–Devonian boundary and the Klonk event in the Frame Formation, subsurface West Texas / J. E. Barrick, B. D. Meyer, S. C. Ruppel // Bulletins of American Paleontology. – 2005. – № 369. – P. 105–122.
2. Chatterton, B. D. E. Lochkovian Trilobites and Conodonts from Northwestern Canada / B. D. E. Chatterton, D. G. Perry // Journal of Paleontology. – 1977. – Vol. 51, № 4. – P. 772–796.
3. Corriga, M. G. Lower Lochkovian (Lower Devonian) conodonts from Cellon section (Carnic Alps, Austria) / M. G. Corriga, C. Corradini, H. P. Schlaub, M. Pondrelli // Bulletin of Geosciences. – 2016. – Vol. 91, № 2. – P. 261–270.
4. Devonian Stratigraphy / E. L. Grossman [et al.] // The Geologic Time Scale 2020. Vol. 2. – Elsevier, 2020. – P. 749–757.
5. Drygant, H. Lochkovian conodonts from Podolia, Ukraine and their stratigraphic significance / D. Drygant, H. Szaniawski // Acta Palaeontologica Polonica. – 2012. – № 57 (4). – P. 833–861.
6. Farrell, J. R. Late Pridoli, Lochkovian and Early Pragian conodonts from The Gap area between Larra Lee and Eurimbla, central western NSW, Australia // J. R. Farrell // Courier Forschungsinstitut Senckenberg. – 2003. – № 245. – P. 107–181.

7. **Farrell, J. R.** Siluro-Devonian conodonts from the Camelford Limestone, Wellington, New South Wales, Australia / J. R. Farrell // *Palaeontology*. – 2004. – № 47. – Pt. 4. – P. 937–982.
8. **Karatajūtė-Talimaa, V. N.** The Silurian and Devonian thelodonts from the USSR and Spitsbergen: abstract of the Thesis for doctor in geol. and mineral: 04.00.09 / V. N. Karatajūtė-Talimaa; Moscow State University. – Moscow, 1976. – 44 p. (in Russian).
9. **Kruchek, S.** Vertebrate microremains from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of Belarus / S. Kruchek, J. Valiukevičius, T. Märss // *The Third Baltic Stratigraphic Conference (Abstrats)*. – Tartu, 1996. – P. 34.
10. **Lane, H. R.** Siluro-Devonian biostratigraphy of the Salmontrout River area, east-central Alaska / H. R. Lane, A. R. Ormiston // *Geologica et Palaeontologica*. – 1979. – № 13. – P. 39–96.
11. **Mashkova, T. V.** Ozarkodina steinhornensis (Ziegler) apparatus, its conodonts and biozone / T. V. Mashkova // *Geologica et Palaeontologica*. – 1972. – № 1. – P. 81–91.
12. **Murphy, M. A.** Lanea new genus of Early Devonian conodonts / M. A. Murphy, J. I. Valenzuela-Ríos // *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*. – 1999. – № 37. – P. 321–334.
13. **Olivieri, R.** Latest Silurian – early Devonian conodonts from the Mason Porcus Section near Fluminimaggiore, South-western Sardinia / R. Olivieri, E. Serpagli // *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*. – 1990. – № 29. – P. 59–76.
14. **Plax, D. P.** Devonian ichthyofauna of the Volyn Monocline / D. P. Plax // *Litasfera*. – 2011. – № 2 (35). – P. 12–21.
15. **Plax, D. P.** Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the southwestern part of Belarus / D. P. Plax // *Litasfera*. – 2015. – № 2 (43). – P. 19–36.
16. **Siluro-Devonian (Pridoli-Lochkovian and early Emsian) conodonts from the Nowshera area, Pakistan: implications for the mid-Palaeozoic stratigraphy of the Peshawar Basin** / R. Mawson [et al.] // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*. – 2003. – № 245. – P. 83–105.
17. **Schünlaub, H. P.** Silurian and Devonian conodont localities of the Barrandian. Field Trip E / H. P. Schünlaub // *Second European Conodont Symposium (ECOS II)*. Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt. – 1980. – № 35. – P. 147–180.
18. **Sweet, W. C.** The Conodonta: morphology, taxonomy, paleoecology, and evolutionary history of a long-extinct animal phylum / W. C. Sweet // *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*. New York. – 1988. – № 10. – 212 p.
19. **Valenzuela-Ríos, J. I.** Conodontos del Lochkoviense y Pragiense (Devónico Inferior) del Pirineo Central Espacol / J. I. Valenzuela-Ríos // *Memorias del Museo Paleontológico de la universidad de Zaragoza*. – 1994. – № 5. – P. 1–178.
20. **Valiukevičius, J.** Acanthodian biostratigraphy and interregional correlations of the Devonian of the Baltic States, Belarus, Ukraine and Russia / J. Valiukevičius, S. Kruchek // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. – 2000. – Vol. 223. – P. 271–289.
21. **Valiukevičius, J.** New Silurian to Middle Devonian acanthodians of the Timan-Pechora region / J. Valiukevičius // *Acta Geologica Polonica*. – 2003. – Vol. 53, № 3. – P. 209–245.
22. **Scolecodonts**, conodonts, and vertebrates / O. H. Walliser [et al.] // *A Late Silurian fauna from the Sutherland River formation, Devon Islands, Canadian Arctic Archipelago*. – Geological Survey of Canada: Bulletin 65. – P. 1–51.
23. **Zhen, Y. Y.** Lochkovian (Early Devonian) corals and conodonts from the Elura Limestone Member, north of Cobar in central-western New South Wales / Y. Y. Zhen, J. Fitzherbert // *Quarterly Notes. Geological Survey of New South Wales*. – 2021. – № 154. – 27 p.
24. **Ziegler, W.** Conodonten aus dem Rheinischen Unterdevon (Gedinnium) des Remscheider Sattels (Rheinisches Schiefergebirge) / W. Ziegler // *Paläontologische Zeitschrift*. – 1960. – № 34. – P. 169–201.
25. Геология Беларуси / под ред. А. С. Махнача [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – С. 191–239.
26. **Дрыгант, Д. М.** Девонські конодонти південно-західної окраїни Східноєвропейської платформи (Волино-Поділля, Україна) / Д. М. Дрыгант. – Київ : Академперіодика, 2010. – 156 с.
27. **Дрыгант, Д. М.** Корреляция и конодонты силурийских – нижнедевонских отложений Волыно-Подолии / Д. М. Дрыгант. – Київ : Наукова думка, 1984. – 192 с.
28. **Дрыгант, Д. М.** Некоторые виды конодонтов силура Подолии / Д. М. Дрыгант // Палеонтологический сборник. – 1968. – № 5 (1). – С. 46–52.
29. **Машкова, Т. В.** Зональные комплексы конодонтов пограничных слоев силура и девона Подолии / Т. В. Mashkova // Граница силура и девона и биостратиграфия силура : тр. III Междунар. симпоз., Ленинград, 1968 г. – Л. : Наука, 1971. – Т. 1. – С. 157–164.

30. **Моисеева, Т. И.** Предварительные данные о возрасте пород верхнего силура Брестской впадины (по микрофауне) / Т. И. Моисеева, С. А. Кручек // Материалы третьей науч. конф. молодых геологов Белоруссии. – Минск, 1969. – С. 3–4.
31. **Мурашко, О. В.** Изученность фауны конодонтов из девонских отложений территории Беларуси / О. В. Мурашко // Літасфера. – 2018. – № 1 (48). – С. 7887.
32. **Положение** границы силур-девон в скважине Томашовка 11 (юго-западная часть БССР) / А. Ф. Абушник [и др.] // Доклады АН БССР. – 1982. – Т. XXVI, № 6. – С. 533–566.
33. **Пушкин, В. И.** Мшанковые биогермы и «заросли» раннего девона Беларуси и смежных территорий / В. И. Пушкин // Літасфера. – 1996. – № 4. – С. 62–73.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 06.07.2023

Рэцензент A. A. Махнач

КАНАДОНТЫ З ЛОХКАЎСКІХ АДКЛАДАЎ БЕЛАРУСКАЙ ЧАСТКІ ВАЛЫНСКАЙ МАНАКЛІНАЛІ (СВІДРАВІНА ТАМАШОЎКА 11)

Б. В. Мурашка

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: volum@tut.by

У артыкуле прыводзяцца новыя дадзеныя аб канадонтах з адкладаў лохкаўскага яруса ніжняга дэвона, выкryтых свідравінай Тамашоўка 11, прасвідраванай на тэрыторыі Беларусі ў паўночна-заходній частцы Валынскай манакліналі. Выяўлены шэраг таксонаў, раней не вядомых на тэрыторыі краіны: *Zieglerodina mashkovae* (Drygant), *Z. formosa* (Drygant), *Z. remsciedensis* (Ziegler), *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell), *Wurmiella excavata maxima* (Drygant), *Caudicriodus hadnagyi* (Chatterton et Perry). Найбольшае значэнне для мэт стратыграфіі маюць *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell), што з'яўляецца кіруючым відам баршчоўскага гарызонту, і *Wurmiella excavata maxima* (Drygant), якія ўваходзяць у лік відаў-індэксавых зонаў *Cypricriodus hesperius*. Усе выяўленыя таксоны канадонтавага комплексу пацвярджаюць раннелохкаўскі ўзрост асадканарапашвання даследаванай часткі разрезу.

Ключавыя слова: Беларусь, Валынская манакліналь, канадонты, лохкаўская адклады, ніжні дэвон.

КОНОДОНТЫ ИЗ ЛОХКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ ВОЛЫНСКОЙ МОНОКЛИНАЛИ (СКВАЖИНА ТОМАШОВКА 11)

О. В. Мурашко

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
Филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: volum@tut.by

Приведены новые данные о конодонтах из отложений лохковского яруса нижнего девона, вскрытых скважиной Томашовка 11, пробуренной на территории Беларуси в северо-западной части Волынской моноклинали. Выявлен ряд таксонов, ранее не известных на территории страны: *Zieglerodina mashkovae* (Drygant), *Z. formosa* (Drygant), *Z. remsciedensis* (Ziegler), *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell), *Wurmiella excavata maxima* (Drygant), *Caudicriodus hadnagyi* (Chatterton et Perry). Наибольшее значение для целей стратиграфии имеют *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell), являющийся руководящим видом борщовского горизонта, и *Wurmiella excavata maxima* (Drygant), входящие в число видов-индексов зоны *Cypricriodus hesperius*. Все выявленные таксоны конодонтового комплекса подтверждают раннелохковский возраст осадконакопления исследованной части разреза.

Ключевые слова: Беларусь, Волынская моноклиналь, конодонты, лохковские отложения, нижний девон.

УДК 551.735.1(476–12)

СТРАТИГРАФІЯ І КОРРЕЛЯЦІЯ ОТЛОЖЕНИЙ ВІЗЕЙСКОГО ЯРУСА НИЖНЕГО КАРБОНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

В. И. Толстошев, П. О. Сахарук

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»

Филиал «Институт геологии»

ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

E-mail: polina.sakharuk@gmail.com

В статье представлены результаты стратиграфического расчленения визейских отложений нижнего отдела каменноугольной системы в разрезах четырех скважин, пробуренных на севере Припятского прогиба: Зеленковичи 30-сл, Протасы 29-сл, Тереховская 35-р и Шарпиловская 1-р, а также приведена схема корреляции выделенных стратонов, которая показывает, что стратиграфическая полнота разреза отложений визейского яруса в северной части Припятского прогиба постепенно увеличивается в направлении с запада на восток.

Ключевые слова: стратиграфия, корреляция, визейский ярус, каменноугольная система, Припятский прогиб.

ВВЕДЕНИЕ

Представленная статья является продолжением серии публикаций по стратиграфии отложений визейского яруса и их корреляции в разных частях Припятского прогиба и на смежных с ним структурах [10; 11]. В данной статье представлены материалы по стратиграфии образований визейского яруса нижнего карбона в северной части Припятского прогиба, где они залегают фрагментарно в синклинальных зонах (рис. 1).

В качестве северной части Припятского прогиба в статье рассматривается территория, расположенная в плане над Речицко-Шатилковской ступенью Припятского грабена [2], которая выделяется по поверхности фундамента и вышележащим отложениям среднего девона, франского яруса и домановичско-петриковским (межсолевым) образованиям нижнего фамена верхнего девона. Ступень ограничена на севере Северо-Припятским краевым (суперрегиональным), на юге – Речицко-Вишанским, а на востоке – Верхнеднепровским (северным флангом) региональными разломами. На основании сейсмических материалов в состав восточного окончания данной ступени также включается более льшая (северная) часть ранее выделяемой Лоевской седловины [1]. В пределах Речицко-Шатилковской ступени прослеживаются Глуско-Щербовский региональный, Оземлинско-Моисеевский, Первомайский субрегиональные и другие разломы [1]. Между Северо-Припятским краевым и Глуско-Щербовским региональным разломами выделяется Северная зона бортовых уступов, осложняющая северную часть Речицко-

Шатилковской ступени [1; 2]. Эродированная нижнефаменская поверхность ступени, осложненная разноранговыми разломами и блоками (как и на остальной территории грабена), перекрыта мощными толщами верхнесоленосных и надсолевых девонских образований.

Толща визейских образований не нарушена указанными разломами, однако они оказали существенное влияние на залегание каменноугольных отложений в данной части прогиба. По сейсмогеологическим данным, на погребенной Речицко-Шатилковской ступени вышеизложенные разломы оказывали контролирующее влияние на формирование линейных зон приразломных локальных поднятий в верхнефаменской соленосной толще с участием соляной тектоники, особенно это проявилось вдоль поднятого крыла Речицко-Вишанского регионального разлома [2].

Северную часть прогиба, в которой проявился галокинез (в меньшей степени, по сравнению с центральной частью прогиба), авторы статьи выделили в качестве Северной структурной зоны галокинеза Припятского прогиба (см. рис. 1). Эта зона в проекции расположена над центральной и, частично, восточной (до границы верхнесоленосных образований) частями погруженной субширотной Речицко-Шатилковской ступени Припятского грабена. В Северной зоне галокинеза локальные соляные поднятия объединены в несколько соляных валов, протянувшихся в широтном направлении: Березинский, Чернинский, Первомайский и Речицкий. Между валами сформировались Предберезинская и Предпервомайская синклинальные зоны, в которых фрагментарно присутствуют де-

нудированные визейские образования. В западной части Речицко-Шатилковской ступени выделяется Оресско-Глусский вал. Все его локальные поднятия и сам вал в целом являются отраженными приразломными, не осложненными галокинезом, и в его

пределах каменноугольные (включая визейские) отложения оказались размытыми [2; 9]. В восточной части ступени накопление визейских осадков проходило без участия соляной тектоники.

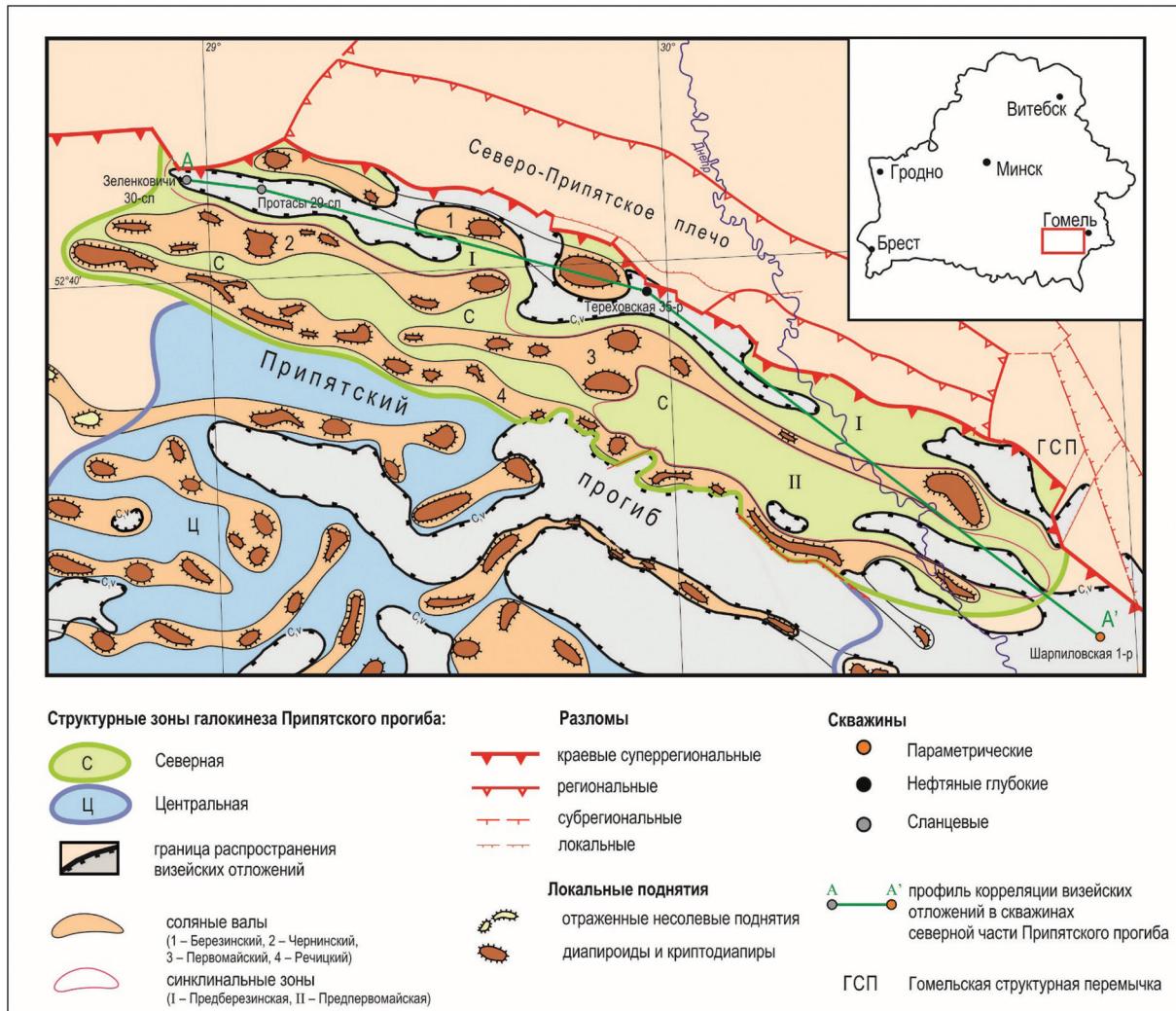


Рисунок 1 – Схема распространения визейских отложений в северной части Припятского прогиба, выделенной по поверхности верхнефаменской соленосной толщи. Составлена по материалам [2]

Рассматриваемые в статье скважины Зеленковичи 30-сл, Протасы 29-сл и Тереховская 35-сл пробурены в Предберезинской синклинальной зоне, более детальное описание их разрезов дается ниже. В Предпервомайской синклинальной зоне отсутствуют отложения нижнего визе, здесь на отдельных участках залегают только частично размытые верхневизейские (тульско-михайловские) отложения, которые вскрыты в Северо-Речицкой мульде глубокими нефтяными скважинами (Речицкие 12-р, 26-р, 66-р и Демиховская 201-р), пробуренными без отбора керна из надсолевых образований. Предположительно, данные образования также присутствуют в Северо-Василевской

синклинали, в пределах которой не пробурено скважин. В восточной части изученной территории Речицко-Шатилковской ступени пробурена скважина Шарпиловская 1-р, описание разреза которой также приводится ниже в статье.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В основу статьи легли материалы геофизических и палеонтологических исследований из фондовых и опубликованных источников по визейским образованиям в разрезах четырех скважин, пробуренных в северной части Припятского прогиба в разные годы.

В 1964 г. Белорусская контора разведочного бурения (в настоящее время – филиал «Мозырская нефтеразведочная экспедиция глубокого бурения» Государственного предприятия «НПЦ по геологии») пробурила на восточном окончании Речицко-Шатилковской ступени глубокую параметрическую скважину Шарпиловская 1-р, вскрывшую наиболее полный разрез нижневизейских отложений в данной части Припятского прогиба.

В 1965–1969 гг. Октябрьская геолого-поисковая партия (Н. Н. Кочкалда и др.) осуществляла поиск горючих сланцев в северном регионе Припятского прогиба и пробурила несколько мелких скважин с хорошим выходом керна. В западной части Предберезинской синклинальной зоны партия пробурила скважины Протасы 29-сл (1967 г.) и Зеленковичи (Октябрь по Г. И. Кедо) 30-сл (1968 г.), которые вскрыли нижне- и верхневизейские образования. В 1969 г. В. И. Авхимович с использованием палинологического метода определила споры в образцах глин из скважин 29-сл и 30-сл для производственного отчета (Н. Н. Кочкалда и др.) и выделила в толще пород бобриковский (нижняя часть), тульский, алексинский и михайловский горизонты. Полученные результаты не были опубликованы в последующем. В 1979 г. Г. И. Кедо также для производственного отчета (Г. И. Кедо, В. К. Голубцов, В. С. Акимец, В. И. Авхимович и др.) на основе палинологического метода более детально изучила отложения визейского яруса в скважине Зеленковичи 30-сл и сопоставила их с изученными одновозрастными образованиями, вскрытыми скважинами в Припятском прогибе.

В 1981 г. Г. И. Кедо и В. К. Голубцов [5] пересмотрели все имеющиеся палинологические материалы по нижневизейским образованиям, в том числе и по скважинам Шарпиловская 1-р, Протасы 29-сл и Зеленковичи 30-сл. Они выделили в каолиновой толще Южной и Центральной зон прогиба четыре споровых комплекса и расчленели ее на четыре пачки-цикла. Из них три (I, II и III) соответствуют гостовскому горизонту (свите), а четвертая (IV) – бобриковскому горизонту (богутичской свите). Изученные споровые комплексы гостовского горизонта позволяют коррелировать их с одновозрастными образованиями малиновского надгоризонта Волго-Уральской области и Подмосковного бассейна в целом [5].

Полученные данные позволили В. И. Толстощееву [9] проследить денудированные визейские образования, залегающие в виде узкого субширотного контура, протянувшегося с запада на восток на 128 км в пределах Предберезинской синклинальной зоны. Контур ограничен Березинским, Чернинским и Первомайским соляными валами и, ча-

стично, Северо-Припятским краевым разломом. В восточной части синклинальной зоны эродированные визейские отложения сохранились от размыва в Северо-Александровской синклинали (см. рис. 1).

В 1994 г. РУП «Белгеология» пробурило глубокую скважину Тереховская 35-р для поисков нефти в северной части Припятского прогиба, отложения надсолевого девона и карбона в ней были пройдены без отбора керна. Впоследствии был изучен и опубликован [7] разрез параметрической скважины Южно-Борецкая 1-р (1990 г.), расположенной около Северо-Припятского краевого разлома, и скважины Тереховская 35-р, вскрывшей отложения турнейского и визейского ярусов нижнего карбона. В турнейских образованиях скважины Южно-Борецкая 1-р определены комплексы видов миоспор, а также остракоды. Вышележащие пестроцветные отложения нижнего визе (гостовская свита) были выделены условно по сопоставлению с изученными разрезами в скважинах Протасы 29-сл и Зеленковичи 30-сл.

Авторы статьи выполнили стратиграфическое расчленение визейского комплекса пород в разрезах вышеупомянутых скважин в соответствии со стратиграфическими схемами Беларуси 2010 г. [8] и составили схему корреляции изученных отложений.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В стратиграфической схеме каменноугольной системы Беларуси 2010 г. [8] визейский ярус разделен на нижний и верхний подъярусы.

Нижний подъярус визейского яруса (C_1v_1) в Припятском прогибе включает гостовский и бобриковский горизонты, которым соответствуют гостовская и богутичская свиты [8]. В литостратиграфическом отношении обе свиты соответствуют континентальной каолиновой толще песчано-глинистых пород нижнего визе. В Северной зоне Припятского прогиба каолиновая толща вскрыта в скважинах Зеленковичи 30-сл (инт. 304,0–364,0 м, мощность 60 м) и Протасы 29-сл (инт. 305,0–362,0 м, мощность 57 м) (табл. 1).

В 1969 г. В. И. Авхимович на основании изучения спор в образцах глин из разрезов скважин 29-сл и 30-сл выделила отложения, соответствующие нижней части бобриковского горизонта (bb_1). Г. И. Кедо и В. К. Голубцов [5] выделили в каолиновой толще с использованием данных по литологии и материалов геофизических исследований скважин (ГИС), а также уточненных данных спорово-пыльцевого анализа только две нижние пачки-цикла (I и II), соответствующие гостовско-

му горизонту (свите), а третья (III) и четвертая (IV) пачки в Северной зоне галокинеза, по их мнению, отсутствуют вследствие размыва в процессе подъема территории прогиба в конце раннего визе. Каолинизация пород нижнего визе в Северной зоне значительно меньше по сравнению с аналогичными отложениями Южной и Центральной зон галокинеза, что обусловлено большой удаленностью от области сноса обломочного материала – Украинского щита.

В скважине Зеленковичи 30-сл нижневизейские отложения расчленены на две пачки-цикла, ниже приводится их краткое описание.

Первая пачка-цикл выделена в интервале 345,0–364,0 м, ее мощность составляет 19 м (рис. 2). Пачка-цикл трансгрессивно залегает на образованиях турнейского яруса нижнего карбона. Она выполнена глинами серыми, коричневато-серыми, темно-серыми, плотными, алевритистыми, некарбонатными, с обугленными растительными остатками, часто с гнездами и пропластками мелкозернистого кварцевого песка или глинистого песчаника. В основании пачки-цикла залегает песчаник (0,7 м) кварцевый, крепкий, грубозернистый, с включением темноцветных минералов, переходящий в песчаник (3,0 м) серый, светло-серый, желто-бурый, плотный, крепкий, кварцевый, мелкозернистый, некарбонатный. Выше (до гл. 350,6 м по керну) вскрыта глина серая, сильно песчаная, участками ожелезненная до желто-буровой

с включением зерен кварца и многочисленных коричневато-бурых оолитов, иногда глина переходит в оолитовый глинистый песчаник. В кровле пачки-цикла (0,3 м) залегает глина сиреневато-серая, алевритистая, плотная, с обугленными растительными остатками, некарбонатная, с прослойками песка мелкозернистого, кварцевого, сильно глинистого. В верхней половине разреза содержатся многочисленные железистые оолиты.

В 1979 г. Г. И. Кедо в образце глины сей-рой с глубины 356,0 м определила комплекс спор: *Acanthotriletes multisetus* (Luber) Kedo (25 %), *Lophotriletes minutissimus* Naum. (18 %), *Archaeozonotriletes cf. compactus* Naum. (8 %), *Hymenozonotriletes hyalinus* Naum. var. *tournensis* Kedo (7 %), *H. punctatus* (Andr.) var. *minor* Kedo (5 %), *Dictyotriletes tschernyschensis* Jush. (8 %), *Acanthotriletes dominans* Kedo (3 %), *Dictyotriletes mediareticulatus* (Ibr.) Kedo (2 %), *Stenozonotriletes cf. pumilus* (Waltz) Isch. (1 %), *S. laevis* Naum. var. *rarus* Jush. (3 %), *S. cf. scabrus* Naum. (2 %), *Hymenozonotriletes rugosiusculus* (Jush.) Kedo (3 %), *H. granulatus* (Naum.) Kedo (1 %), *H. submirabilis* (Luber) Kedo (1 %), *Lophozonotriletes rarituberculatus* (Luber) Kedo (1 %), включая характерные виды: *Acanthotriletes multisetus*, *A. dominans*, *Lophotriletes minutissimus*. Выделенный комплекс был определен как малиновский. В последующее время в результате детальной ревизии палинологических материалов данные виды были выделены в первый спо-

ровый комплекс, характеризующий первую (или базальную) пачку-цикл гостовского горизонта (свиты) нижнего карбона [5].

Таблица 1 – Стратиграфическое расчленение визейских отложений в разрезах скважин северной части Припятского прогиба

Скважина	Альтитуда	Забой	Кровля	Система	Каменноугольная								Подошва			
				Отдел	Нижний											
				Ярус	Визейский											
				Подъярус	Верхневизейский				Нижневизейский							
				Горизонт, пачка	C ₁ vn	C ₁ mh	C ₁ al	C ₁ tl	C ₁ bb IV	C ₁ gs III	C ₁ gs II	C ₁ gs I	Глубина	Индекс		
Зеленковичи 30-сл	138,0 548,7	C ₁ sž	Гл. кровли Абс. отм. Мощность	– – 13,5	263,5 –125,5 17,5	277,0 –139,0 17,5	294,5 –156,5 9,5	–	–	304,0 –166,0 41,0	345,0 –207,0 19,0	364,0 –226,0	C ₁ t			
Протасы 29-сл	142,0 597,0	C ₁ sž	Гл. кровли Абс. отм. Мощность	– – 14,5	268,5 –126,5 13,0	283,0 –141,0 9,0	296,0 –154,0 14,5	–	–	305,0 –163,0 42,5	347,5 –205,5 14,5	362,0 –220,0	C ₁ t			
Тереховская 35-р	144,0 3600,0	P ₃ dd	Гл. кровли Абс. отм. Мощность	– – 25,0	298,5 –154,5 23,2	323,5 –179,5 14,8	346,7 –202,7 14,8	–	361,5 –217,5 36,5	398,0 –254,0 75,5	473,5 –329,5 19,0	492,5 –348,5	C ₁ t			
Шарпиловская 1-р	118,3 2810,0	C ₁ sž	Гл. кровли Абс. отм. Мощность	– – 16,0	507,0 –388,7 18,0	523,0 –404,7 14,0	541,0 –422,7 9,0	555,0 –436,7 79,0	564,0 –445,7 77,0	643,0 –524,7 22,0	720,0 –601,7	742,0 –623,7	D ₃ pl			

Примечание. Стратиграфические индексы: D₃pl – полесский надгоризонт верхнефаменского подъяруса верхнего девона; каменноугольная система, нижний отдел: C₁t – турнейский ярус; визейский ярус, горизонты: C₁gs – гостов-

ский, C_1bb – бобриковский, C_1tl – тульский, C_1al – алексинский, C_1mh – михайловский, C_1vn – венёвский; C_1sz – сожский горизонт серпуховского яруса; P_3dd – дудичская свита татарского отдела пермской системы.

Вторая пачка-цикль вскрыта в интервале 304,0–345,0 м (мощность 41,0 м). На границе первой и второй пачек-циклов отсутствует перерыв в осадкоакоплении и наблюдается постепенный переход отложений первой пачки во вторую, сложенную глинами серыми и темно-серыми до черных, прослойми углистыми, некарбонатными, плотными, жирными, каолинизированными, с многочисленными зеркалами скольжения и обуглившимися растительными остатками. В основании второй пачки-цикла (инт. 343,4–345,0 м) залегает глина сиреневато-серая, алевритистая, плотная, некарбонатная, участками ожелезненная до желто-буровой, с обугленными растительными остатками, с прослойми и линзами желто-бурового мелкозернистого кварцевого песка. В глине встречаются маломощные прослои алевролита ожелезненного, бурого, с неровной поверхностью. В коричневато-серой глине (инт. 331,8–334,4 м) отмечаются гравийные зерна кварца и встречаются другой прослой алевролита (1,0 м) зеленовато-бурового, глинистого, плотного. Выше по разрезу находится глина (инт. 313,3–314,5 м) пестроцветная (голубовато-серая, коричневато-бурая) плотная, алевритистая, некарбонатная, перекрываемая алевролитом (инт. 310,7–313,3 м, 0,3 м по керну) розовато-серым, плотным, кварцевым, слюдистым, некарбонатным. В самой кровле пачки-цикла (инт. 303,7–310,7 м) керн не поднят. Прослои углистых глин наблюдаются в интервалах: 314,7–315,0 м (0,3 м); 324,25–324,6 м (0,3 м); 336,6–337,2 м (0,4 м).

В 1969 г. В. И. Авхимович изучила споры в двух образцах глин из второй пачки-цикла. В глине коричневато-серой (гл. 320,0 м) определены виды: *Lophotriletes rugosus* Naum. (34 %), *Retusotriletes setosus* Kedo (12 %), *Lophotriletes minutissimus* (11 %), *Acanthotriletes multisetus* (11 %), *Lophotriletes rotundus* Naum. (10 %), *Leiotriletes simplicissimus* Naum. (6 %), *Archaeozonotriletes multiplicabilis* Kedo (3 %), *A. microspinosis* Kedo (3 %), *A. literatus* (Waltz) Naum. var. *triangularis* Kedo (1,5 %), *A. compactus* (1,5 %). В глине темно-серой (гл. 335,0 м) комплекс спор представлен следующими видами: *Lophotriletes rugosus* (26 %), *L. rotundus* (14 %), *Retusotriletes setosus* (13 %), *Acanthotriletes multisetus* (9 %), *A. dominans* (8 %), *Lophotriletes minutissimus* (6 %), *Archaeozonotriletes microspinosis* (6 %), *A. literatus* (4 %), *A. compactus* (3 %), *Perisaccus laevis* Kedo (2 %), *Simozonotriletes arquatus* (Waltz) Kedo (2 %), *Archaeozonotriletes multiplicabilis* (2 %). Выделенные

виды спор позволили определить возраст пород второй пачки-цикла как раннебобриковский (bb_1).

В 1979 г. Г. И. Кедо дополнительно изучила споры в трех образцах из второй пачки-цикла. В образце глины углистой (гл. 315,0 м) были определены споры: *Lophotriletes minutissimus* (50 %), *Camarozonotriletes subcrassus* Jush. (21 %), *Perisaccus sacculiferus* Kedo (6 %), *Stenozonotriletes micropunctatus* (Andr.) Naum. (2 %), единично встречены виды подгруппы *Trematozonotriletes*, *Stenozonotriletes*, *Archaeozonotriletes*. В образце глины черной углистой (гл. 320,5 м) споровый комплекс представлен видами: *Euryzonotriletes orbiculatus* (Waltz) Kedo et Jush. (10 %), *Stenozonotriletes luculentus* Naum. (8 %), *S. diffinites* Naum. (10 %), *Trilobozonotriletes inciso-trilobus* Naum. (6 %), *T. turgidus* Jush. (3 %), *Trematozonotriletes gibberosus* Kedo et Jush. (3 %), *T. punctatus* Naum. (6 %), *Euryzonotriletes macrodiscus* (Waltz) Isch. var. *reticulata* Kedo (3 %), *Simozonotriletes eurynatus* (Waltz) (3 %), *S. aff. arquatus* (Waltz) Kedo (3 %), *S. conduplicatus* (Andr.) Isch. (2 %), *Lophotriletes tuberculatus* (Waltz) Naum. (5 %), *Dictyotriletes distinctus* Naum. (2 %), *Brochotriletes crassus* Naum. (3 %), *Stenozonotriletes cf. pumilus* (3 %), *Archaeozonotriletes microspinosis* (2 %), *Euryzonotriletes sulcatus* Naum. (2 %), *E. incisus* Jush. (1 %), *Simozonotriletes intortus* (Waltz) Isch. (1 %), *Archaeozonotriletes multiplicabilis* (1 %), *Dictyotriletes macroreticulatus* Naum. (1 %), *Hymenozonotriletes conformis* Kedo (1 %), *Lophotriletes minutissimus*. В образце глины темно-серой до черной каолиновой (гл. 336,5 м) обнаружены: *Lophotriletes minutissimus* (13 %), *Trilobozonotriletes inciso-trilobus* (13 %), *Acanthotriletes multisetus* (10 %), *Hymenozonotriletes hyalinus* (6 %), *Archaeozonotriletes cf. compactus* (6 %), *A. literatus* (4 %), *A. parvispinus* (Luber) Kedo (2 %), *Dictyotriletes distinctus* (2 %), *Stenozonotriletes difinitus* Naum. (2 %), *Lophotriletes rugosus* (2 %), *Trilobozonotriletes glabra* Kedo (2 %), *Hymenozonotriletes hyalinus* var. *tournensis* (4 %), *H. cf. conformis* Kedo (4 %), *H. mirabilis* (Luber) (2 %), *Dictyotriletes magnus* Naum. (1 %), *Archaeozonotriletes cf. semilucensis* Naum. (3 %). По заключению Г. И. Кедо, выявленный в трех образцах комплекс спор следует определять как малиновский. Вышеназванные виды спор характеризуют вторую пачку-цикль гостовского горизонта (свиты) в разрезе скважины Зеленковичи 30-сл, сопоставляемую с одновозрастными отложениями в скважине Гостов 7-п Заозерной площади Центральной зоны Припятского прогиба, а также с образованиями малиновского надгоризонта Волго-Уральской области и Подмосковного бассейна [5].

В скважине Протасы 29-сл нижневизейские отложения также расчленены на две пачки-цикла.

Первая пачка-цикл выделена в интервале 347,5–362,0 м, ее мощность здесь составляет 14,5 м (см. рис. 2). Пачка сложена глинами серыми и коричневато-серыми, плотными, алевритистыми, некарбонатными, с зеркалами скольжения, с обуглившимися растительными остатками. В нижней части разреза, в интервале 358,0–362,0 м, отмечена глина коричневато-серая, алевритистая, некарбонатная, с крупными обуглившимися растительными остатками, с прослойями алевролитов коричневато-серых. В интервале 356,4–358,0 м залегает алевролит коричневато-серый, плотный, кварцевый, глинистый мощностью 0,7 м и глина коричневато-серая, алевритистая мощностью 0,3 м. В верхней части разреза (инт. 352,5–355,0 м) глина участками сильно опесчаненная, с гнездами песка светло-серого, кварцевого, мелкозернистого. В 1969 г. В. И. Авхимович в двух образцах глин (гл. 355,0 и 361,0 м) из разреза скважины определила споры и выделила «верхнекизеловский» комплекс спор, сопоставляемый с верхней частью кизеловского горизонта турнейского яруса нижнего карбона. По данным Г. И. Кедо и В. К. Голубцова [5], данный комплекс спор характеризует первую (или базальную) пачку-цикл гостовского горизонта (свиты) нижнего визе.

Вторая пачка-цикл залегает в интервале 305,0–347,5 м (мощность 42,5 м). Пачка выполнена глинами серыми, светло-серыми, коричневато-серыми, плотными, некарбонатными, в верхней и нижней частях разреза прослойями опесчаненными. В самой подошве пачки-цикла наблюдается прослой песка (0,2 м) коричневато-серого, кварцевого, гравелитистого. Также в основании пачки (иант. 343,0–347,5 м) встречен алевролит (1,6 м по керну) серый с коричневым оттенком, кварцевый, плотный, глинистый, с обуглившимися растительными остатками. Разрез в интервале 324,0–343,0 м выполнен глинами серыми с коричневатым оттенком, плотными, некарбонатными, алевритистыми. В интервале 322,9–324,0 м залегают прослои песчаника (0,9 м) светло-серого с желто-бурыми пятнами ожелезнения, мелкозернистого, кварцевого, с черными углистыми включениями, затем – глины (0,4 м) серой, плотной, алевритовой и опесчаненной, с обугленными растительными остатками и песчаника (0,5 м) розовато-серого, мелкозернистого, кварцевого. В интервалах 321,1–321,35 м (0,2 м по керну) и 322,65–322,9 м (0,2 м) наблюдаются прослои угля черного, матового, сажистого. Выше (иант. 320,0–321,1 м, мощность 1,0 м) отмечена глина темно-серая и серая, алевритистая, слабокарбонатная и песчаник (0,1 м) розовато-серый, кварцевый, пористый, его пустоты заполнены гравием кварца, галечками глины и углистыми включениями. В интервале 317,5–320,0 м залегают

прослои алевролита (0,6 м) светло-серого, кварцевого с прожилками зеленовато-серой глины, затем глины (0,5 м) зеленовато-серой с желто-бурыми пятнами ожелезнения и прослойками алевролита, далее – песчаника (0,6 м) розовато-серого, тонко- и мелкозернистого, кварцевого, некарбонатного. В 1969 г. В. И. Авхимович в образцах глин с глубины 321,5, 340,0 и 344,0 м определила споры и сопоставила толщу пород в интервале 305,0–347,5 м с нижней частью бобриковского горизонта. Г. И. Кедо и В. К. Голубцов [5] дополнительно изучили данные споры и выделили здесь второй комплекс спор, характерный для второй пачки (цикла) гостовского горизонта (свиты) в скважине Гостов 7-п Центральной зоны галокинеза Припятского прогиба.

В скважине Тереховская 35-р авторы статьи условно выделили три пачки-цикла в отложениях гостовского горизонта нижнего визе и сопоставили их на схеме корреляции со скважинами Зеленковичи 30-сл, Протасы 29-сл и Шарпиловская 1-р (см. рис. 2).

На восточном окончании Речицко-Шатилковской ступени (см. рис. 1) при бурении скважины Шарпиловская 1-р из отложений нижнего визе было поднято небольшое количество керна из пяти интервалов: 590,9–596,9 м (1,75 м); 627,0–630,0 м (0,6 м); 638,4–641,4 (0,55 м); 673,9–678,05 (3,45 м); 707,65–711,25 (3,3 м). Споры были определены в нескольких образцах из интервалов: 673,9–678,05 и 707,65–711,25 м, что позволило выделить в разрезе скважины с использованием результатов палинологического анализа и материалов ГИС вторую пачку гостовского горизонта (свиты). Ниже приведено описание нижневизейских отложений из отмеченных пяти интервалов в скважине Шарпиловская 1-р.

В интервале 707,65–711,25 м вскрыта глина (0,3 м) белая и светло-серая с розоватыми пятнами, каолинистая, выше которой следует глина (2,3 м) темно-серая, плотная, с меньшим количеством обугленных растительных остатков, а затем – глина (1,0 м) темно-серая до черной, каолиновая, плотная, слоистая, с многочисленными обугленными растительными остатками, местами переходящая в углистые глины. Все породы сильно обогащены обугленными растительными остатками и залегают с наклоном 15°. Иногда встречаются тонкие (до 0,5 см) прослойки обугленной древесины, часто видны листовые подушки коры лепидодендронов. В образцах глин с глубины 709,0, 710,5 и 711,0 м В. И. Авхимович определила споры, которые дали возможность установить возраст отложений как раннебобриковский (bb_1) [9].

В интервале 673,9–678,05 м (3,45 м керна) поднят песчаник темно-серый, серый, кварцево-

полевошпатовый, мелкозернистый, глинистый, плитчатый, довольно крепкий, некарбонатный, сильно слюдистый (слюда желтая и зеленая, крупная (до 2–3 мм)). В нижней части (в 0,5 м от подошвы) – прослой (0,15 м) песчаника серого, мелкозернистого, крепкого, массивного, тяжелого, некарбонатного, с обугленными растительными остатками. В нескольких образцах из песчаника данного интервала В. И. Авхимович определила споры, которые характеризуют нижнюю часть бобриковского горизонта (bb_1) визейского яруса [9]. В средней части (1,0 м) – песчаник темно-серый, сильно глинистый, с многочисленными обугленными растительными остатками, иногда – крупными типа листьев каламитов. Породы залегают с наклоном 15°.

В интервале 638,4–641,4 м (0,55 м керна) вскрыта глина ярко-оранжевая, красная, плотная, плитчатая, слюдистая, слегка алевритистая, некарбонатная, сильно ожелезненная (почти гематит), слойки имеют наклон до 15°. В кровле (0,1 м) глина розово-ливовая, каолинизированная, с многочисленными зернами кварца, обуглившимися и ожелезненными растительными остатками.

В интервале 627,0–630,0 м (0,6 м керна) залегает песчаник белый, участками сиреневый, мелкозернистый, каолиновый, местами с включением крупных и грубых, хорошо окатанных зерен кварца.

В интервале 590,9–596,9 м (1,7 м керна) вскрыты: в подошве – прослой песчаника (0,3 м) мелкозернистого, белого, каолинистого, выше поднята глина (1,2 м) белая, каолиновая, слюдистая, плотная, камнеподобная, с довольно многочисленными крупными ожелезненными растительными остатками (листовые элементы каламитов), местами слегка алевритистая, и в самой верхней части – песчаник (0,2 м) светло-сиреневый с белыми пятнами, розово-сиреневый, мелкозернистый, кварцевый, плотный, слюдистый, довольно крепкий, некарбонатный, глинистый, каолинизированный, с крупными ожелезненными растительными остатками.

Выявленные споры в образцах из двух интервалов (673,9–678,05 и 707,65–711,25 м) в целом позволили выделить споровый комплекс, в состав которого входят виды: *Lophotriletes minutissimus*, *Retusotriletes setosus*, *Acanthotriletes multisetus*, *A. dominans*, *Lophotriletes rotundus*, *Archaeozonotriletes literatus*, *A. multiplicabilis*, *Dictyotriletes magnus*, *Trilobozonotriletes incisotribulus*, *Hymenozonotriletes pusillus* (Ibr.) Isch. По данным Г. И. Кедо, этот своеобразный комплекс спор («нижнебобриковский» [6]) не имеет аналогов на Восточно-Европейской платформе [5], хотя отдельные его виды характерны для малиновских отложений востока платформы. В Припятском проги-

бе видовой состав комплекса характерен для второй пачки гостовского горизонта (свиты).

Верхний подъярус визейского яруса ($C_1 v_2$) в северной части Припятского прогиба включает тульский, алексинский и михайловский горизонты, а отложения венёвского горизонта здесь отсутствуют из-за размыва. В Припятском прогибе тульскому горизонту соответствует ясенецкая свита, а алексинский, михайловский и венёвский горизонты в полных разрезах объединены в василевичскую свиту [8].

Отложения верхневизейского подъяруса в скважинах Зеленковичи 30-сл и Протасы 29-сл расчленены на горизонты по результатам изучения миоспор (Г. И. Кедо), а также по сопоставлению их с палеонтологически изученными верхневизейскими разрезами скважин Припятского прогиба. В скважинах Тереховская 35-р и Шарпиловская 1-р в связи бурением без подъема керна вышеизложенные образования выделены на каротажных диаграммах при сопоставлении их с изученными разрезами отложений верхнего визе в скважинах не только Припятского прогиба, но и смежных структур: Абакумы 9-к, Поддобрянка 37-к, Черниговская 1-р [11].

Тульский горизонт ($C_1 tl$) в скважине Зеленковичи 30-сл (инт. 294,5–304,0 м, мощность 9,5 м) слагают глины серые, темно-серые, жирные, плотные, прослоями алевритистые, некарбонатные, с зеркалами скольжения, с обугленными растительными остатками. В интервале 303,7–310,7 м бурение велось без отбора керна. В основании разреза тульского горизонта предположительно залегает песчаник, трансгрессивно перекрывающий песчано-глинистые образования второй пачки (цикла) гостовского горизонта нижнего визе. Выше вскрыта глина (инт. 302,4–303,7 м, мощность 1,3 м) сиреневато-серая, жирная, некарбонатная, в нижней части слоя алевритовая. В интервале 302,1–302,4 м (мощность 0,3 м) выделяется прослой глины пестроцветной (голубовато-розовой, вишнево-буровой), каолинизированной, некарбонатной, алевритистой, слюдистой. В средней части разреза (инт. 298,8–299,6 м, 0,5 м керна) отмечен прослой песчаника коричневато-серого, кварцевого, мелкозернистого, плотного, слюдистого, с обугленными растительными остатками. В интервалах 298,4–298,55 м (0,15 м керна) и 299,6–299,8 м (0,15 м керна) залегают два прослоя угля черного, матового, сажистого, пиритизированного.

В 1979 г. Г. И. Кедо в образце глины серой (гл. 296,8 м) с многочисленными спорами определены следующие виды: *Hymenozonotriletes pusillus* (17 %), *Euryzonotriletes macrodiscus* (13 %), *Lophotriletes cf. concinnus* (Pl.) Kedo comb. nov. (15 %), *Trematozonotriletes glabra* (7 %), *Simozonotriletes trivialis* (Waltz) Kedo (4 %), *S. intortus* (2 %), *Euryzonotriletes planus* Naum (4 %), *E. variabilis*

Naum. (3 %), *Hymenozonotriletes conformis* (3 %), *Perisaccus primigenius* Naum. (4 %), *Simozonotriletes (Waltziflora) albertensis* (Pl.) (4 %), *Trachytriletes lobophorus* (Waltz) Naum. (3 %), *T. subintortus* Naum. (2 %), *T. minutus* Naum. (1 %), *T. pennatus* (Isch.) Kedo (1 %), *Lophotriletes pennatus* (Isch.) Kedo (2 %), *Leiotriletes subintortus* (Waltz) Naum. (2 %), *Trachytriletes macropunctatus* Jush. (1 %), *Lophotriletes parviverruccosus* (Waltz) Jush. (1 %), *Trilobozonotriletes inciso-trilobus* (1 %), *Trematozonotriletes stenomarginatus* Jush. (1 %), *T. punctatus* (1 %), *Simozonotriletes brevispinosus* (Waltz) Kedo et Jush. (1 %). Кроме спор, встречены единичные акритархи типа *Baltisphaeridium* и *Azonaletes rectinervis* Kedo. В образце угля бурого с примесью алевролита (гл. 298,5 м) комплекс спор представлен видами: *Trematozonotriletes punctatus* (24 %), *T. goniacanthus* Naum. (14 %), *T. glabra* (11 %), *Hymenozonotriletes pusillus* (10 %), *Trematozonotriletes gibberosus* (11 %), *Euryzonotriletes variabilis* (3 %), *E. macroduplicatus* Naum. (3 %), *Dicyotriletes microreticulatus* Naum. (3 %), *Acanthotriletes parvispinosus* (Luber) Jush. (5 %), *Trematozonotriletes bialatus* (Waltz) Naum. (4 %), *T. exilis* Jush. (2 %), *Simozonotriletes brevispinosus* (2 %), *Perisaccus primigenius*, (2 %), также встречены единичные *Tasmanites*. В образце песчаника серого, мелкозернистого (гл. 299,3 м) преобладают виды спор: *Hymenozonotriletes pusillus* (27 %), *Perisaccus primigenius* (12 %) *Trematozonotriletes punctatus* (7 %), *Hymenozonotriletes compositus* Kedo (4 %), *Trematozonotriletes bialatus* (3 %), *Leiotriletes pusillus* Jush. (2 %), *Trachytriletes subintortus* (3 %), *Lophotriletes cf. parviverruccosus* (2 %), *Simozonotriletes scabrus* (3 %), *Trematozonotriletes bialatus* (Waltz) Kedo et Jush. var. *undulatus* Kedo (2 %), *Simozonotriletes brevispinosus* (2 %), *Euryzonotriletes variabilis* var. *major* Kedo (2 %), *E. variabilis* (1 %), *E. suborbicularis* (1 %), *E. trivialis* Kedo et Jush. (1 %), *Leiotriletes inermis* (Waltz) Naum. (1 %), *Simozonotriletes trivialis* (1 %), *Trematozonotriletes stenomarginatus* (1 %), *T. variabilis* (Waltz) Isch. (1 %), *T. dentatus* (Waltz) Kedo et Jush. (1 %). Установленные в трех образцах виды спор выделены Г. И. Кедо в единый комплекс спор, характерный для отложений тульского горизонта [6].

В скважине Протасы 29-сл (инт. 296,0–305,0 м, мощность 9 м) тульский горизонт сложен глинами серыми и темно-серыми, жирными, плотными, участками – переходящими в алевролит кварцевый, глинистый. В глинах отмечаются отпечатки раковин брахиопод, обломки фауны и обугленные растительные остатки. В подошве горизонта отмечен слой песка (мощность 4,6 м) серого, кварцевого, гравелистого, трансгрессивно залегающего на глинистых породах второй пачки гостовского горизонта ниж-

него визе. В образце глины (гл. 299,0 м) В. И. Авхимович определила споры, указывающие на тульско-алексинский возраст вмещающих отложений [9].

Отметим, что тульские отложения по своему литологическому составу в рассмотренных разрезах скважин Северной зоны галокинеза имеют некоторое отличие от тульских образований других частей Припятского прогиба и сопредельных территорий. В Центральной и Южной зонах галокинеза отложения тульского горизонта по литологическому составу и фауне четко расчленяются на две части: нижнюю – глинистую и верхнюю – глинисто-известняковую. Граница между ними проводится по подошве первого известняка в разрезе [3; 4]. В скважинах Северной зоны галокинеза тульские отложения представлены только глинистой толщей, в которой прослои известняков отсутствуют.

Алексинский горизонт (*C₁al*) в скважине Зеленковичи 30-сл выделен в интервале 277,0–294,5 м, мощностью 17,5 м (см. рис. 2). По литологическим особенностям пород и содержащимся в них остаткам фауны Алексинская толща пород разделена на две части: нижнюю – глинисто-алевролитовую и верхнюю – глинисто-известняковую.

Нижняя подтолща горизонта (инт. 287,6–294,5 м, мощность 6,9 м) представлена глиной коричневато-серой, темно-серой, плотной, плитчатой, некарбонатной, слюдистой, алевритистой и алевритовой с прослойками и гнездами светло-серого мелкозернистого песка или алевролита, с желваками и прослойками (до 1 см) пирита, с обуглившимися растительными остатками. В рассматриваемой подтолще остатков фауны не содержится. В ее основании (инт. 293,2–294,4 м по керну) залегает алевролит светло-серый, переходящий в подошве в песок светло-серый, кварцевый, мелкозернистый, слюдистый, с тонкими прослойками (до 1 см) глины серой и коричневато-серой, алевритистой, некарбонатной, с растительными остатками (обуглившимися). Этот алевролит является фациальным аналогом нижнего Алексинского известняка, вскрытого скважинами Центральной зоны галокинеза Припятского прогиба. В интервале 292,25–292,45 м (по керну) отмечен прослой (0,2 м) угля черного, матового, сажистого.

Верхняя подтолща горизонта (инт. 277,0–287,6 м, мощность 10,6 м) представлена глиной серой и темно-серой, плитчатой, алевритистой, карбонатной, местами с гнездами и желваками пирита, с отпечатками и остатками брахиопод и обуглившимися растительными остатками. В подошве верхней подтолщи горизонта (инт. 287,3–287,6 м по керну) отмечены прослои: глины (0,1 м) черной, углистой, жирной, карбонатной, с остатками фауны бра-

хиопод, остракод, спикул губок и обуглившихся растительных остатков, а ниже – угля (0,2 м) черного, матового, сажистого, тонкоплитчатого. По уточненным данным ГИС, в интервале 281,5–284,0 м выделяется верхний алексинский известняк (мощность 2,5 м) серый, крепкий, глинистый в верхней и нижней частях, трещиноватый (трещины заполнены кальцитом), с обломками фауны и обуглившимися растительными остатками.

В 1979 г. Г. И. Кедо определила большое количество спор из образцов пород алексинского горизонта: глины черной (гл. 285,5; 286,4 м), угля бурого (гл. 287,7 м), песчаника светло-серого (гл. 288,0 м), глины темно-серой (гл. 288,5; 289,7; 291,0 м), глины черной (292,2 м) и алевролита (гл. 294,0 м). В целом, из отмеченных образцов пород Г. И. Кедо выделила комплекс спор, в состав которого входят характерные для алексинского горизонта виды: *Hymenozonotriletes pusillus* (до 35 %), *Trachytriletes subintortus* (до 11 %), *Trilobozonotriletes concavus* Naum. var. *okensis* Jush. et Kedo (до 48 %), *Trematozonotriletes bialatus* (до 10 %), *T. variabilis* (до 15 %), *Camarozonotriletes auritus* Jush. (2 %), *Leiotriletes pennatus* (Isch.) Kedo (до 5 %), *Camarozonotriletes subcassus* (11 %), *Lophotriletes parviverrucosus* (Waltz) Jush. (до 9 %), *Perisaccus primigenius* (до 7 %).

В скважине Протасы 29-сл (инт. 283,0–296,0 м, мощность 13,0 м) алексинский горизонт представлен глиной темно-серой, алевритистой, плотной, некарбонатной, слабо слюдистой, с редкими зеркалами скольжения, с остатками брахиопод и большим содержанием обуглившихся растительных остатков, особенно в нижней части разреза. В основании горизонта залегает алевролит (0,4 м керна) серый с коричневатым оттенком, кварцевый, слюдистый, средней плотности, некарбонатный, с черными углистыми примазками. В верхней части разреза (инт. 286,3–287,6 м) отмечен слой известняка (0,9 м по керну) серого, крепкого, глинистого, с черными углистыми примазками, с остатками брахиопод и остракод. В Центральной зоне прогиба в разрезе алексинского горизонта обычно залегают два слоя известняка: нижний (в подошве) и верхний (вблизи от кровли). В скважине 29-сл в разрезе присутствует только верхний известняк, а нижнему соответствует отмеченный выше слой алевролита, являющийся в Северной зоне галокинеза фациальным аналогом подошвенного известняка. В 1969 г. В. И. Авхимович в образце глины (гл. 288,3 м) определила комплекс спор, характерный для верхневизейских образований.

Михайловский горизонт (C_1mh) в скважине Зеленковичи 30-сл состоит из двух частей: известняковой (нижней) и глинистой (верхней). Ниж-

нюю часть горизонта (инт. 270,5–277,0 м) слагает известняк (6,5 м) серый, плотный, крепкий, скрытокристаллический, с остатками фауны. Верхняя часть (инт. 263,5–270,5 м, мощность 7,0 м) выполнена глиной темно-серой, алевритистой, некарбонатной, с растительными остатками, с двумя прослоями (до 0,6 м) алевролита светло-серого, слюдистого, кварцевого в верхней половине разреза. В кровле на глине трансгрессивно залегает известняк желтовато-серый, плотный, крепкий, скрыто- и мелекристаллический, участками окремнелый, с остатками фауны остракод, относящийся к сожскому горизонту серпуховского яруса.

Отложения михайловского горизонта в скважине Протасы 29-сл (инт. 268,5–283,0 м, мощность 14,5 м) также состоят из двух частей: нижней – карбонатной и верхней – глинистой. Нижняя часть горизонта (инт. 276,0–283,0 м) представлена известняком (7,0 м) серым и темно-серым, плотным, крепким, скрыто- и мелекристаллическим, в нижней части глинистым, с черными углистыми примазками, с остатками фауны брахиопод, остракод и фораминифер. Верхняя часть (инт. 268,5–276,0 м, мощность 7,5 м) сложена глиной лиловато-розовой, желтой, переходящей ниже по разрезу в темно-серую (3,0 м), некарбонатную, каолинизированную, с пиритизированными растительными остатками. В кровле на глине трансгрессивно залегает известняк светло-серый, крепкий, в верхней части выветрелый, относящийся к сожскому горизонту серпуховского яруса.

В 1979 г. Г. И. Кедо также определила большое количество спор из образцов пород михайловского горизонта: глины темно-серой до черной (гл. 269,0; 270,0 м), глины черной (гл. 271,0 м) и алеврита серого (гл. 271,5 м) и выделила комплекс спор, в состав которого входят виды: *Hymenozonotriletes pusillus* (до 44 %), *Trachytriletes subintortus* (до 13 %), *Camarozonotriletes granulatus* Naum. (до 10 %), *Trilobozonotriletes concavus* var. *okensis* (до 8 %), *Diatomozonotriletes speciosus* (Loose) Isch. (до 6 %), *Acanthotriletes triangularis* Kedo (до 4 %), *Perisaccus primigenius* (до 4 %), *Trematozonotriletes commutatus* (Waltz) Kedo (до 4 %), *T. gibberosus* (до 4 %), *T. punctatus* (1 %), *Camarozonotriletes subcassus* (до 3 %), *Dictyotriletes scabrum* Naum. (2 %), характерные для отложений михайловского горизонта верхнего визе.

Венёвский горизонт (C_1vn). Как отмечалось выше, отложения венёвского горизонта верхнего визе в северной части Припятского прогиба отсутствуют в результате денудации. Образования визейского яруса в изученных скважинах северной части Припятского прогиба трансгрессивно перекрываются отложениями сожского горизонта

нижнесерпуховского подъяруса карбона (скв. Зеленковичи 30-сл, Протасы 29-сл, Шарпиловская 1-р) или дудичской свиты пермской системы (скв. Тереховская 35-р).

На схеме корреляции отложений визейского яруса с привлечением литологических, палинологических и геофизических данных по скважинам Зеленковичи 30-сл, Протасы 29-сл, Тереховская 35-р и Шарпиловская 1-р показано сопоставление одновозрастных стратиграфических подразделений (см. рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нижневизейской каолиновой толще пород северной части Припятского прогиба выделены и прослежены гостовский и бобриковский горизонты. В разрезах скважин Тереховская 35-р и Шарпиловская 1-р выполнено расчленение гостовского горизонта на три пачки-цикла (I–III). Бобриковский горизонт представлен в качестве четвертой пачки-цикла (IV) только в скважине Шарпиловская 1-р. В верхневизейской глинисто-известняковой толще пород по данным изучения миоспор (Г. И. Кедо) выделены и прослежены на схеме корреляции тульский, алексинский и михайловский горизонты (отложения венёвского горизонта здесь отсутствуют из-за размыва), дано описание разрезов данных горизонтов.

Установлено, что тульские отложения по своему литологическому составу в рассмотренных разрезах скважин Северной зоны галокинеза имеют некото-

рое отличие от одновозрастных образований других частей Припятского прогиба и сопредельных территорий. В скважинах Северной зоны тульские отложения представлены только глинистой толщей, в которой прослои известняков отсутствуют, в то время как в Центральной и Южной зонах галокинеза они четко подразделяются на две части: нижнюю – глинистую и верхнюю – глинисто-известняковую, граница между которыми проводится по подошве первого слоя известняка в разрезе.

На составленной схеме корреляции визейских отложений показано, что стратиграфическая полнота разреза отложений визейского яруса в северной части Припятского прогиба постепенно увеличивается в направлении с запада на восток. В этом же направлении возрастает и глубина погружения визейских отложений.

Полученные материалы по расчленению и корреляции визейских отложений помогут выделять данные отложения в разрезах глубоких нефтяных скважин северной части Припятского прогиба, пробуренных без подъема керна из надсолевой части чехла. Для решения этой задачи в последующем будет проведена корреляция визейского комплекса пород Припятского прогиба с аналогичными образованиями сопредельных территорий.

Исследования выполнены в рамках реализации подпрограммы 10.4 «Белорусские недра» Государственной программы научных исследований на 2021–2025 годы «Природные ресурсы и окружающая среда».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Бескопыльный, В. Н.** Пояснительная записка к картам структурного районирования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик. – Минск ; Гомель, 2011. – 43 с.
- 2. Геология Беларуси** / А. С. Махнach [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
- 3. Геология СССР. Т. III. Белорусская ССР. Геологическое описание** / ред. П. А. Леонович. – М. : Недра, 1971. – 456 с.
- 4. Голубцов, В. К.** Фации территории Белоруссии в палеозое и раннем мезозое / В. К. Голубцов, А. С. Махнach. – Минск : Издательство АН БССР, 1961. – 182 с.
- 5. Кедо, Г. И.** О возрасте каолиновой толщи нижнего карбона Припятского прогиба / Г. И. Кедо, В. К. Голубцов // Геология запада Восточно-Европейской платформы. – Минск, 1981. – С. 92–102.
- 6. Кедо, Г. И.** Споры нижнего карбона Припятского прогиба (янополянский подъярус) / Г. И. Кедо // Палеонтология и стратиграфия БССР. – Минск, 1966. – Сб. 5. – С. 3–143.
- 7. О находке отложений каменноугольного возраста на юге Северо-Припятского плеча** / С. А. Кручек [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 3. – С. 100–104.
- 8. Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с. + прил. из 15 стратиграфических схем.
- 9. Толстошеев, В. И.** Надсолевые девонские и каменноугольные отложения Припятского прогиба / В. И. Толстошеев. – Минск : Наука и техника, 1988. – 150 с.

10. Толстошееў, В. И. Стратиграфия и корреляция отложений визейского яруса нижнего карбона в южной части Припятского прогиба / В. И. Толстошееў, П. О. Сахарук // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 24–37.

11. Толстошееў, В. И. Стратиграфия и корреляция отложений визейского яруса нижнего карбона юго-восточной Беларуси на территориях, сопредельных с Припятским прогибом / В. И. Толстошееў, П. О. Сахарук // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 48–62.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 01.08.2023

Рэцэнзент С. У. Дзяміда

СТРАТИГРАФІЯ І КАРЭЛЯЦЫЯ АДКЛАДАЎ ВІЗЭЙСКАГА ЯРУСА НІЖНЯГА КАРБОНУ Ў ПАҮНОЧНАЙ ЧАСТЦЫ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ

У. И. Талсташэеў, П. А. Сахарук

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: polina.sakharuk@gmail.com

У артыкуле прадстаўлены вынікі стратыграфічнага расчлянення візейскіх адкладаў ніжняга аддзела каменнаугальнаі сістэмы ў разрэзах чатырох свідравін на поўначы Прыпяцкага прагіну: Зелянковічы 30-сл, Пратасы 29-сл, Церахоўская 35-р і Шарпілаўская 1-р, а таксама прыведзена схема карэлляцыі выдзеленых стратонаў, на якой паказана, што стратыграфічная паўната разрэзу адкладаў візейскага яруса ў паўночнай частцы Прыпяцкага прагіну паступова павялічваецца ў напрамку з захаду на ўсход.

Ключавыя слова: стратыграфія, карэлляцыя, візейскі ярус, каменнаугальная сістэма, Прыпяцкі прагін.

STRATIGRAPHY AND CORRELATION OF THE LOWER CARBONIFEROUS VISEAN DEPOSITS IN THE NORTHERN PART OF THE PRIPYAT TROUGH

V. Tolstosheev, P. Sakharuk

State Enterprise «Research and Production Center for Geology»
Branch «Institute of Geology»
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: polina.sakharuk@gmail.com

The article presents the results of stratigraphic division of the Visean deposits of the Lower Carboniferous in sections of four wells drilled in the north of the Pripyat trough: Zelenkovichi 30-sl, Protasy 29-sl, Terekhovka 35-r and Sharpilovka 1-r, and also provides a correlation scheme for the identified stratigraphic units, which shows that completeness of the sections of the Visean deposits in the northern part of the Pripyat trough gradually increases from west to east.

Keywords: stratigraphy, correlation, Visean stage, Carboniferous system, Pripyat trough.

УДК 004.9:551.79(476.2)

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А. П. Гусев, А. И. Павловский, С. В. Андрушко, В. Л. Моляренко

Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины

ул. Советская, 104, 246028, Гомель, Беларусь

E-mail: andi_gusev@mail.ru, aipavlovsky@mail.ru, sandrushko@list.ru, molyarenko-vova@bk.ru

Рассмотрены особенности создания цифровых моделей четвертичных отложений для территории Гомельской области с помощью геоинформационных систем Golden Software Surfer и SAGA на основе базы данных «Буровая изученность Республики Беларусь». Набор алгоритмов анализа цифровых моделей позволил получить ряд статистических характеристик четвертичных отложений, их распределение по основным тектоническим структурам, связь с разрывными нарушениями, проникающими в чехол четвертичных отложений, что частично проявляется в виде границ тектонических структур. Выделено несколько кольцеобразных структур, совпадающих с участками, на которых имеет место резкое увеличение мощности четвертичных отложений, оконтурены зоны сноса и накопления материала. Установлено, что разработка цифровых моделей карт четвертичных отложений позволяет оперативно использовать фактический материал и решать задачи по рациональному использованию недр, выявлению новых участков полезных ископаемых, мониторингу их состояния.

Ключевые слова: цифровая модель, четвертичные отложения, мощность, Гомельская область, тектонические структуры, методы интерполяции, ГИС, Golden Software Surfer, SAGA, SRTM.

ВВЕДЕНИЕ

Большой вклад в изучение четвертичных отложений на территории Гомельской области внесли Г. И. Гарецкий, А. С. Махнач, К. И. Лукашев, А. В. Матвеев, Э. А. Левков, Ф. Ю. Величкевич, Л. М. Вознячук, Е. П. Мандер, Р. И. Левицкая, Т. Б. Рылова, Т. В. Якубовская, Э. А. Крутоус и др. Разработаны стратиграфические схемы и классификации четвертичных отложений, составлены карты четвертичных отложений [1; 9]. На территории Гомельской области изучением четвертичных отложений занимались Институт геохимии и геофизики АН БССР, БелНИИГРИ, НПЦ по геологии, отраслевые и проектные институты, Гомельский государственный университет и другие организации.

Создание цифровой модели четвертичных отложений является актуальным для специалистов-геологов вопросом, так как может использоваться в качестве основы для рационального и экологобезопасного недропользования на территории Гомельской области. С четвертичными отложениями связаны месторождения различных полезных ископаемых (глин, песчано-гравийного материала и строительных песков, сапропелей, торфа, техногенного минерального сырья), они являются непосредственным компонентом окружающей среды, от которого зависят условия строительства зданий, сооружений и коммуникаций, эколого-гео-

химическая ситуация в городских и сельскохозяйственных ландшафтах, защищенность подземных вод от химического загрязнения, условия миграции загрязняющих веществ в верхней части земной коры, риски развития опасных и неблагоприятных геологических процессов и явлений.

Цель работы – разработка цифровой модели четвертичных отложений на территории Гомельской области с использованием геоинформационных технологий.

Решаемые задачи: 1) разработка цифровых моделей мощности четвертичных отложений и поверхности подошвы четвертичных отложений; 2) анализ цифровых моделей мощности и поверхности подошвы четвертичных отложений; 3) изучение связи характеристик четвертичных отложений с тектоническими структурами.

РАЙОН И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований занимает юго-восточную часть территории Беларуси, в его пределах выделяются следующие тектонические структуры: Припятский прогиб, Брагинско-Лоевская и Жлобинская седловины, западные склоны Воронежской антеклизы, северный склон Украинского кристаллического щита, северо-западная часть Днепровско-Донецкого прогиба. Сложная картина дифференциации тектонических и неотектонических движений способствовала

формированию локальных структур более низких порядков, суммарная амплитуда движений по разломам составляла порядка 100–140 м, а некоторых случаях и более [1]. Верхняя часть осадочного чехла, построенная в основном породами меловой, палеогеновой, неогеновой и антропогеновой систем, представляет наибольший интерес в понимании особенностей морфолитогенеза в квартере.

Особенности рельефа предопределены деятельностью днепровской и сожской фаз припятского оледенения, а также постледниковыми флювиальными, эоловыми, биогенными и другими процессами. Абсолютные отметки земной поверхности изменяются от 103,4 м (урез р. Припять) до 221,0 м (Мозырская возвышенность), составляя в среднем 110–145 м. В целом наблюдается повышение отметок рельефа на север (Чечерская равнина до 180 м) и на юг (граница с Украиной – 155–165 м) от долины р. Припять. Относительные высоты на большей части территории составляют 5–7 м, достигая в пределах краевых ледниковых возвышенностей 15–30 м. Гидрографическая сеть относится к бассейну Днепра, который с реками Припять, Березина и Сож составляют основу речной сети и дренируют в основном водоносные горизонты квартера, реже неогена и палеогена. Современный литогенез связан в основном с накоплением аллювиальных, биогенных, склоновых, техногенных и других литогенетических комплексов.

В работе использована база данных «Буровая изученность Республики Беларусь», разработанная государственным предприятием «Научно-производственный центр по геологии». База данных включает информацию о пространственной привязке, назначение и основные характеристики скважин, данные по стратиграфии и литологии, мощности и глубины залегания слоев, а также сведения об основных источниках составления базы.

Дополнительно в ходе исследования была использована цифровая модель рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), которая в настоящее время является одной из самых популярных моделей рельефа, что связано с ее обширным территориальным охватом и доступностью. SRTM – это международный исследовательский проект, созданный для разработки цифровой модели высот поверхности Земли с помощью радарной топографической съемки [13].

Создание цифровых моделей и их анализ проводили с помощью геоинформационных систем Golden Software Surfer и SAGA [8; 10–12; 14]. Геоинформационная система Golden Software Surfer является отраслевым стандартом построения графических изображений функций двух переменных. Достоинством программы являются заложенные

в нее алгоритмы интерполяции, которые позволяют с высочайшим качеством создавать цифровые модели поверхности по неравномерно распределенным в пространстве данным [10]. Golden Software Surfer (Surfer) предлагает несколько алгоритмов интерполяции: метод кrigинга (kriging), метод обратного расстояния (Inverse Distance to a Power) и др.

Интерполирование в методе кrigинга (kriging), основанном на статистических характеристиках входных данных (среднее значение и дисперсия), производится гауссовским процессом, определяемым предыдущими ковариациями. В основе метода лежит принцип несмещенности среднего: все взятые вместе значения должны иметь правильное среднее значение; глобальная несмещенность обеспечивается повышением низких значений и уменьшением высоких значений [8].

Метод обратного расстояния (Inverse Distance to a Power) основан на вычислении весовых коэффициентов, с помощью которых взвешиваются значения экспериментальных Z-значений в точках наблюдений при построении интерполяционной функции. Параметр Power определяет, как быстро уменьшаются весовые множители с ростом расстояния до узла сети; при больших значениях параметра Power точкам наблюдений, более близким к рассматриваемому узлу сети, присваиваются большие доли общего веса; при меньших значениях параметра Power веса убывают более плавно с ростом расстояния до узла сети [8].

Анализ ЦРМ, геостатистика, моделирование и решение стандартных аналитических задач – основные функции пространственного анализа открытой настольной ГИС SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses), которые были применены в исследовании. В ГИС SAGA имеется широкий набор алгоритмов анализа цифровых моделей рельефа [11; 12].

Верификация полученных моделей осуществлялась с точки зрения их соответствия особенностям геологического строения территории и ранее составленным картам поверхности ложа и мощности четвертичных отложений [3–7; 9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Отложения квартера распространены практически на всей территории Гомельской области, их мощность изменяется от первых сантиметров в районе д. Глушкевичи Лельчицкого района, где на поверхность выходят архей-протерозойские породы фундамента, до 140 м в пределах Мозырской возвышенности и более 200 м у д. Старч Калинковичского района [9].

Геологическое строение и условия залегания отличаются относительной сложностью и разнообразием. Основной объем четвертичной толщи представлен преимущественно моренными и водно-ледниковыми образованиями нижнего и среднеплейстоцена, а также аллювиальными, озерно-аллювиальными, озерными, болотными, эоловыми, склоновыми и другими континентальными осадками верхнего плеистоцена и голоцен. Формирование четвертичных отложений происходило на фоне волнообразного изменения климата в виде чередования похолоданий и потеплений, что привело к развитию ледниковых и межледниковых эпох и, соответственно, к ритмическому характеру строения толщи (чередование ледниковой, межледниковой и криогенной формаций). Нормальная стратиграфическая последовательность залегания отложений разновозрастных ритмов сохраняется только в условиях слабо денудированной и расчлененной поверхности коренных пород. Плеистоцен на территории Гомельской области представлен отложениями нижнего, среднего и верхнего звеньев, а также широко развиты различные генетические типы голоцена.

Стратиграфическая схема четвертичных отложений Беларуси дополнена дворецким горизонтом, который располагается в основании плейстоцена и вместе с гомельским горизонтом составляет его нижний подотдел. В составе дворецкого горизонта выделены ольховский и любчанский подгоризонты – новые региональные стратоны. В схемах неогена и квартера уточнена корреляция затронутых изменениями холмечского и дворецкого горизонтов с региональными подразделениями стратиграфических схем смежных регионов. Обоснование нового положения неоген-четвертичной границы в геологическом разрезе территории Беларуси, как и выделения новых региональных и местных стратиграфических подразделений схем неогена и квартера, выполнено по геологическим и палеоботаническим (спорово-пыльцевым и палеокарологическим) данным [2].

Важной характеристикой является мощность четвертичных отложений. Для разработки цифровой модели мощностей четвертичных отложений использовался метод кrigинга (kriging), с помощью которого получена карта мощностей четвертичных отложений в изолиниях (рис. 1).

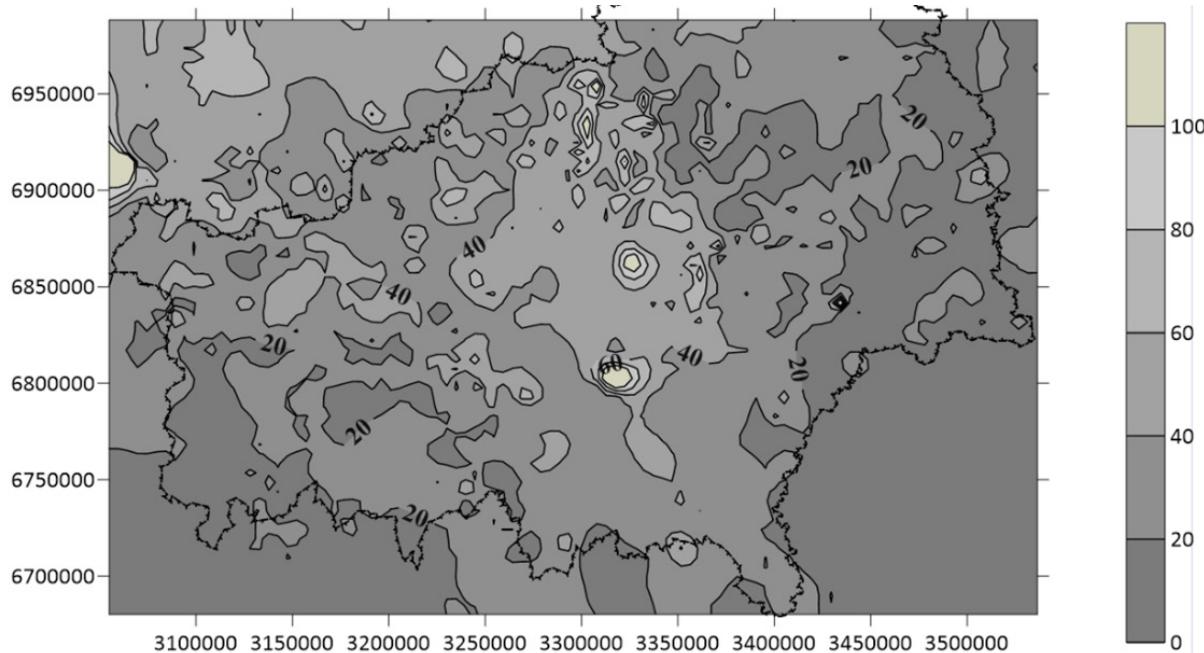


Рисунок 1 – Изолинии мощностей четвертичных отложений на территории Гомельской области (метод интерполяции – kriging)

Методы интерполяции, основанные на других алгоритмах, показывают в целом схожие результаты. На рисунке 2 в качестве примера приведена модель мощностей четвертичных отложений, полученная на основе метода Inverse Distance to a Power (степень обратного расстояния).

Основные характеристики четвертичных отложений (мощности и абсолютные отметки подош-

вы) приведены в таблице 1. Установлено, что средняя мощность четвертичных отложений составляет $30,2 \pm 0,34$ м, а средняя абсолютная отметка подошвы четвертичных отложений – $104,5 \pm 0,38$ м. Мощности колеблются от 0 до 264 м, абсолютные отметки подошвы – от –124 до 155,7 м.

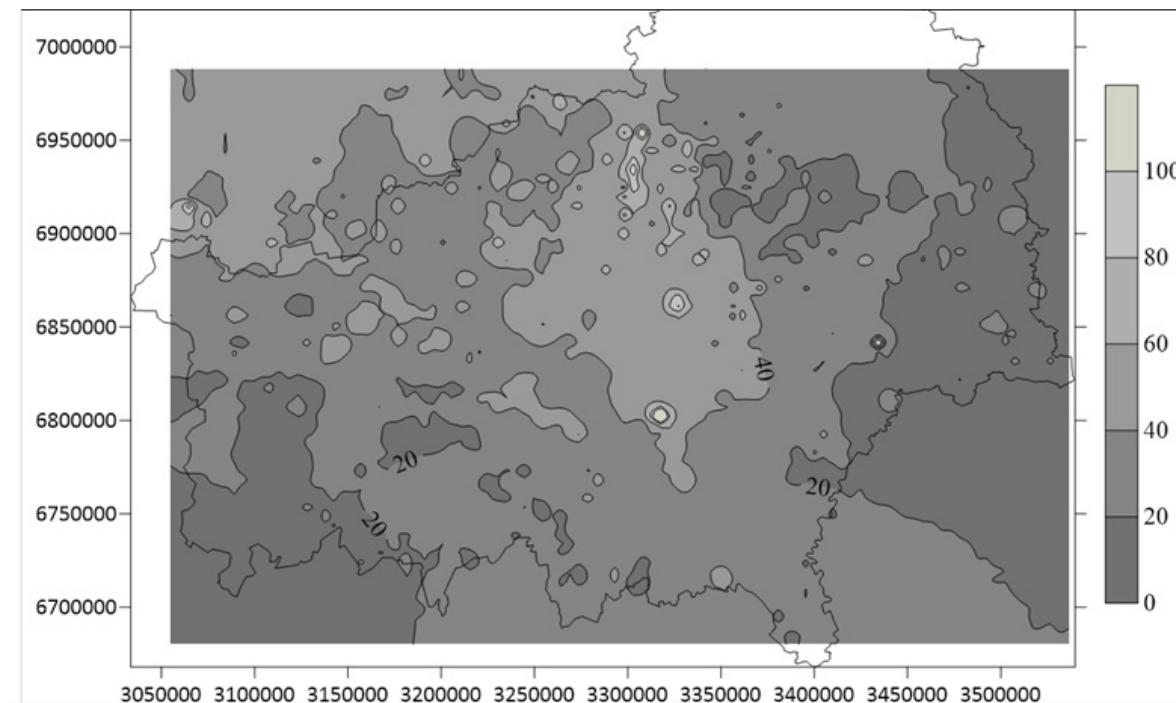


Рисунок 2 – Изолинии мощностей четвертичных отложений на территории Гомельской области (метод интерполяции Inverse Distance to a Power)

Таблица 1 – Характеристика четвертичных отложений Гомельской области

Статистика	Мощность, м	Абсолютные отметки подошвы, м
Среднее	30,2	104,5
Стандартная ошибка	0,34	0,38
Медиана	26,8	105,4
Мода	20,0	105,0
Стандартное отклонение	19,16	21,3
Дисперсия	367,0	455,0
Минимум	0	-124,0
Максимум	264,0	155,7

Рассмотрим изменения указанных характеристик по тектоническим структурам, расположенным в пределах Гомельской области (рис. 3). Видно, что наименьшая средняя мощность четвертичных отложений отмечается для Клинцовского грабена Воронежской антеклизы (15,9 м), Гремячского выступа Воронежской антеклизы (16,3 м) и Украинского щита (19,2 м). Наибольшие значения средней мощности четвертичных отложений отмечаются на Северной ступени Припятского прогиба (40,3 м) и Северо-Припятского плеча (32,0 м).

Для остальных тектонических структур характерны средние мощности четвертичных отложений в пределах 20–30 м. Максимальные мощности обнаруживаются в единичных скважинах: на Брагинско-Лоевской седловине (143,2 м), на Северо-Припятском плече (155,0 м), на Северной ступени Припятского прогиба (149,9 м) и Центральном грабене Припятского прогиба (264,0 м).

Медианные и модальные мощности и стандартное отклонение тектонических структур изучаемой территории приведены на рисунке 4.

Средние значения абсолютных отметок подошвы четвертичных отложений изменяются от 84,1 м (Днепровско-Донецкий прогиб) до 131,5 м (Гремячский выступ Воронежской антеклизы). Средняя величина абсолютной высоты подошвы составляет 104,8 м. Наиболее высокие отметки подошвы четвертичных отложений характерны для структур Воронежской антеклизы (Гремячский выступ, Клинцовский грабен) и Украинского щита. Среднее значение абсолютных отметок подошвы на Украинском щите составляет 124,5 м. Наиболее низкие отметки подошвы четвертичных отложений характерны для Днепровско-Донецкого прогиба (среднее значение составляет 84,1 м) и северной ступени Припятского прогиба (95,6 м).

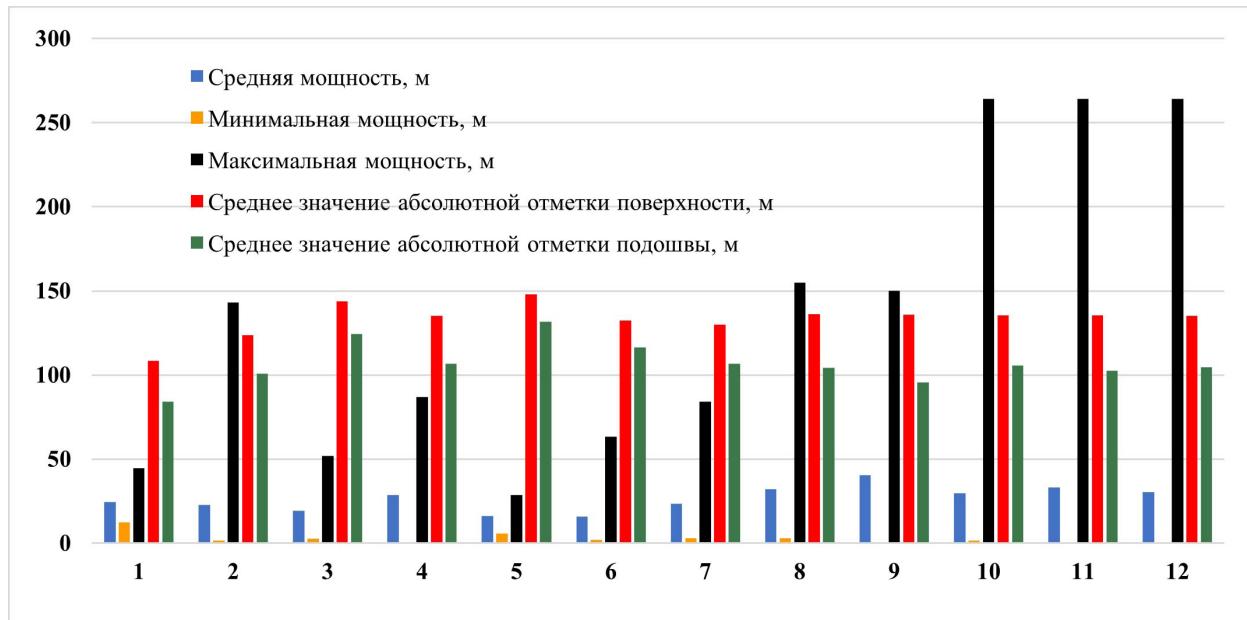


Рисунок 3 – Общие сведения о мощности четвертичных отложений в пределах тектонических структур:
 1 – Днепровско-Донецкий прогиб; 2 – Брагинско-Лоевская седловина; 3 – Украинский щит; 4 – Микашевичско-Житковичский выступ; 5 – Гремячский выступ Воронежской антеклизы; 6 – Клинцовский грабен Воронежской антеклизы; 7 – Гомельская перемычка; 8 – Северо-Припятское плечо; 9 – Припятский прогиб (северная ступень);
 10 – Припятский прогиб (центральный грабен); 11 – Припятский прогиб в целом; 12 – регион в целом

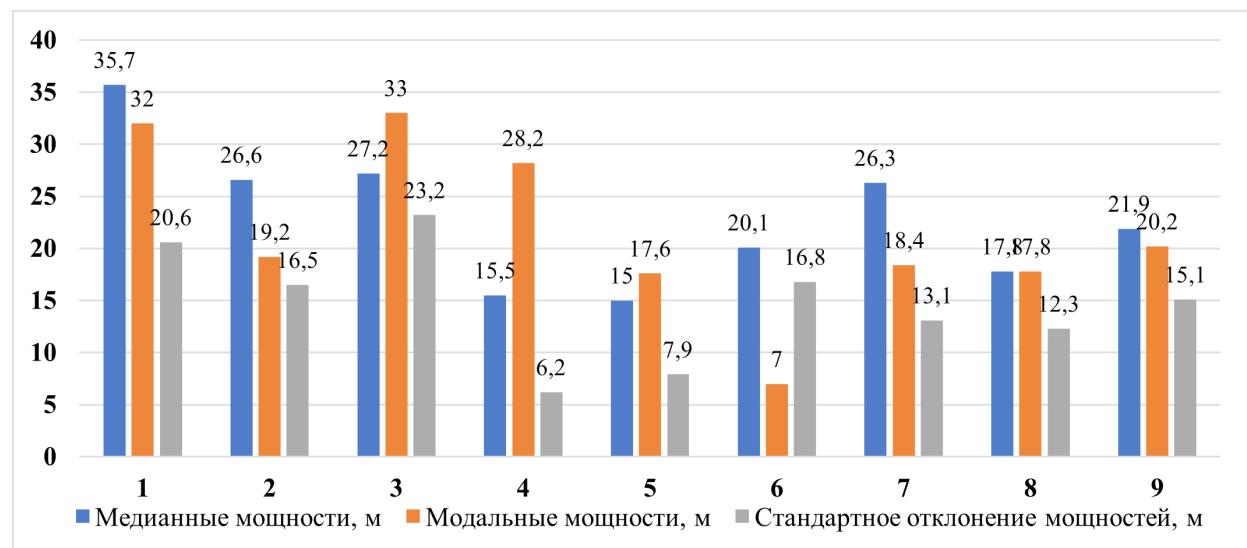


Рисунок 4 – Статистические характеристики мощности четвертичных отложений по тектоническим структурам:
 1 – Северная ступень Припятского прогиба; 2 – Центральный грабен Припятского прогиба;
 3 – Северо-Припятское плечо; 4 – Гремячский выступ; 5 – Клинцовский грабен; 6 – Гомельская перемычка;
 7 – Микашевичско-Житковичский выступ; 8 – Украинский щит; 9 – Брагинско-Лоевская седловина

Средние значения абсолютных отметок подошвы четвертичных отложений изменяются от 84,1 м (Днепровско-Донецкий прогиб) до 131,5 м (Гремячский выступ Воронежской антеклизы). Средняя величина абсолютной высоты подошвы составляет 104,8 м. Наиболее высокие отметки подошвы четвертичных отложений характерны для структур Воронежской антеклизы (Гремячский выступ, Клинцовский грабен) и Украинского щита. Среднее значение абсолютных отметок подошвы на Украинском

щите составляет 124,5 м. Наиболее низкие отметки подошвы четвертичных отложений характерны для Днепровско-Донецкого прогиба (среднее значение составляет 84,1 м) и северной ступени Припятского прогиба (95,6 м).

Установлено, что в пределах Воронежской антеклизы абсолютные отметки колеблются в интервале от 48 до 151,7 м (среднее значение 118,0 \pm 14,6 м; медиана – 117,3 м). В пределах Гомельской перемычки – от 48 до 128 м (среднее значение

$106,6 \pm 2,2$ м; медиана 111,0 м). На Микашевичско-Житковичском выступе – от 48,7 до 138,2 м (среднее значение $106,8 \pm 1,2$; медиана 107,2 м). На Украинском щите – от 71,0 до 155,7 м (среднее значение $125,3 \pm 3,8$; медиана 129,4 м). На Брагинско-Лоевской седловине – от -26,5 до 133,5 м (среднее значение $98,4 \pm 1,6$; медиана 99,6 м). На Северной ступени

Припятского прогиба – от -27,4 до 135,1 м (среднее значение $95,6 \pm 2,0$; медиана 99,0 м). В Центральном грабене Припятского прогиба – от -124,0 до 153,6 м (среднее значение $105,7 \pm 0,6$; медиана 105,4 м). Цифровая модель отметок подошвы четвертичных отложений показана на рисунке 5.

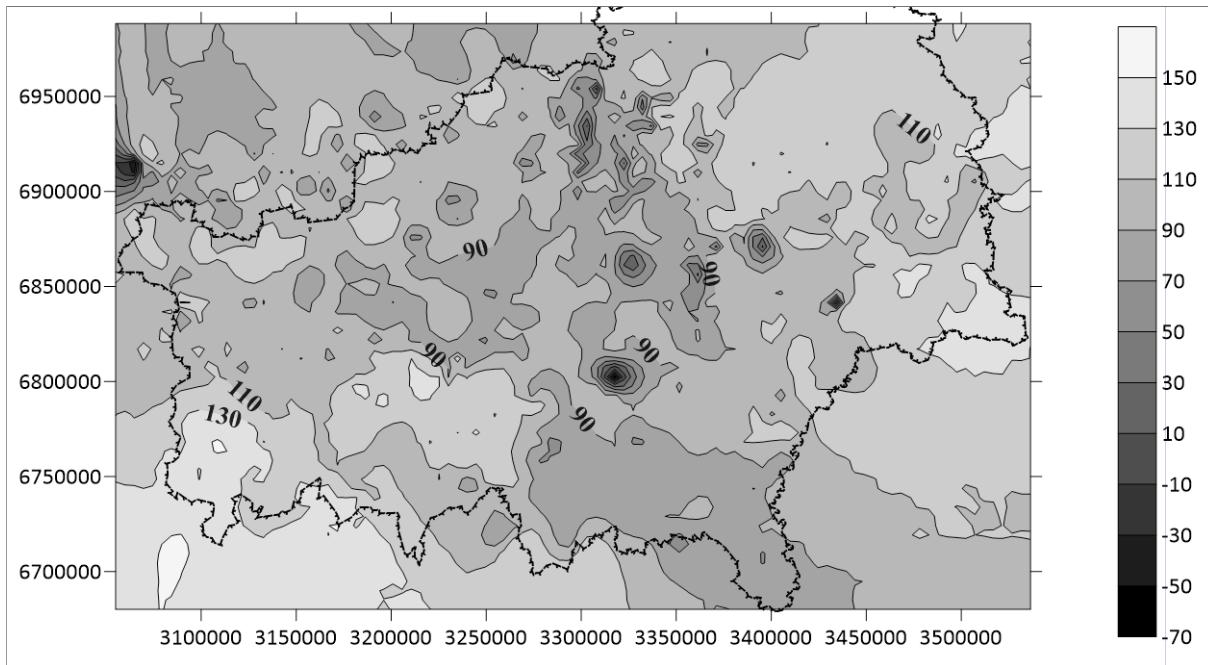


Рисунок 5 – Рельеф подошвы четвертичных отложений на территории Гомельской области (метод интерполяции – kriging, программа – Surfer)

В ГИС SAGA была проведена обработка подошвы четвертичных отложений с помощью алгоритма детектора границ (Canny edge detector). Это один из методов обработки изображений для нахождения границ объектов по изменениям яркости. Особенностью данного алгоритма является применение вариационного исчисления, в ходе которого определяется функция, аппроксимируемая первой производной гауссиана. Метод является одним из самых популярных алгоритмов обнаружения границ. В геологических исследованиях может использоваться при космотектоническом анализе, предполагающем, что глубинные разломные зоны отражаются в тех или иных структурах земной поверхности (рельеф, растительность, гидрография).

Результат применения Canny edge detector в ГИС SAGA приводится на рисунке 6. Вероятно, некоторая часть установленных структур связана с разрывными нарушениями, проникающими в чехол четвертичных отложений. В то же время видно, что разломные зоны, ограничивающие тектонические структуры территории, лишь частично проявляются в виде границ, выявленных Canny edge detector

в четвертичных отложениях. Выделенные границы также не имеют, вероятно, выраженной связи с современной гидрографической сетью. Для сравнения на рисунке 7 приведены результаты обработки Canny edge detector цифровой модели высот земной поверхности (данные STRM). В данном случае наиболее выраженные и протяженные границы связаны с гидрографической сетью.

Был выполнен анализ уклонов поверхности четвертичных отложений (рис. 8). Большая часть территории региона характеризуется низкими значениями уклонов. Однако четко выделяются участки, на которых уклоны поверхности резко возрастают. Такие участки концентрируются в восточной части северной ступени Припятского прогиба, в пределах Северо-Припятского плеча, на участке соединения Гомельской перемычки и Брагинско-Лоевской седловины, в середине Центрального грабена Припятского прогиба. Пространственная структура уклонов подошвы не имеет четкой привязки к современному рельефу и гидрографической сети (для сравнения – рисунок 9).



Рисунок 6 – Результаты обработки подошвы четвертичных отложений детектором границ в ГИС SAGA
(Canny edge detector, SAGA)

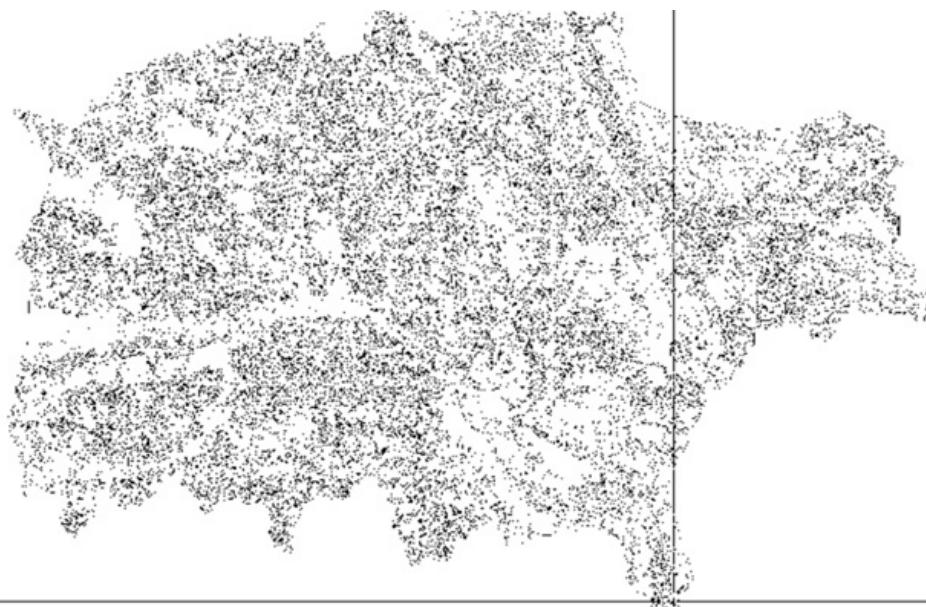


Рисунок 7 – Результаты обработки рельефа земной поверхности детектором границ в ГИС SAGA
(Canny edge detector, SAGA)

Анализ кривизны поверхности подошвы четвертичных отложений был выполнен отдельно для профиля (Profile Curvature) и для поверхности (Plan Curvature). Профильная кривизна определяет скорость изменения уклона в направлении градиента (направление спуска и скорость изменения уклона) в каждом узле грида. Результат определения профильной кривизны подошвы четвертичных отложений показан на рисунке 10. Видно, что выделяются несколько кольцеобразных структур, совпадающих

с участками, на которых имеет место резкое увеличение мощности четвертичных отложений.

Плановая кривизна показывает скорость изменения угла поверхности, измеренного в горизонтальной плоскости, служит мерой кривизны контуров, при этом отрицательные значения указывают на расходящийся поток, положительные – на сходящийся. Результат расчетов плановой кривизны подошвы четвертичных отложений приведен на рисунке 11.

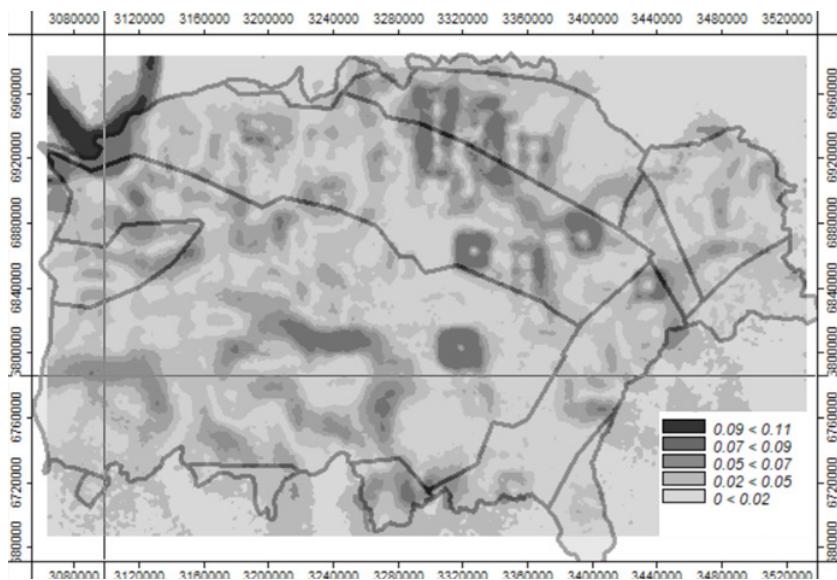


Рисунок 8 – Уклоны поверхности подошвы четвертичных отложений (в радианах, SAGA)

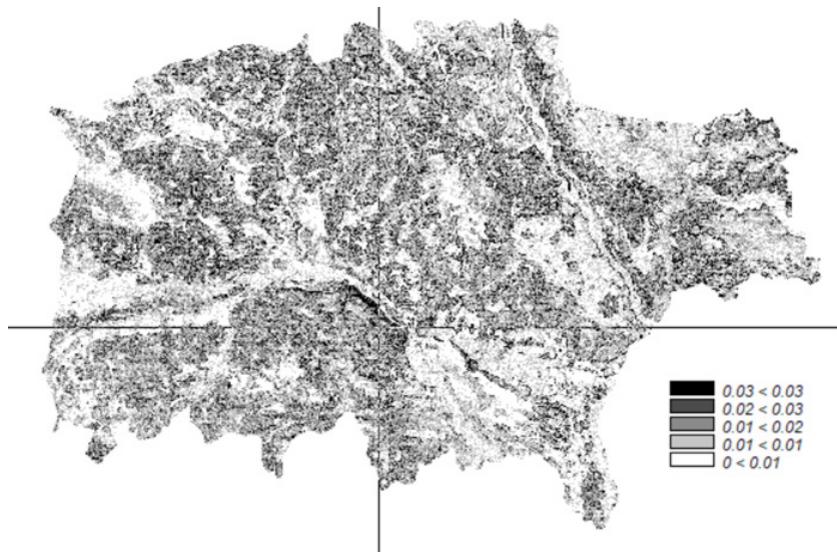


Рисунок 9 – Уклоны рельефа земной поверхности (в радианах, SAGA)



Рисунок 10 – Профильная кривизна поверхности подошвы четвертичных отложений (SAGA)



Рисунок 11 – Плановая кривизна поверхности подошвы четвертичных отложений (SAGA)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важным аспектом разработки цифровых моделей четвертичных отложений, является подтверждение их достоверности, верификация полученных результатов. Построение цифровых моделей и их анализ проводились с помощью геоинформационных систем Golden Software Surfer и SAGA. Это позволило получить достаточно близкие результаты с точки зрения их соответствия особенностям геологического строения территории и ранее составленным картам поверхности ложа и мощности четвертичных отложений, что свидетельствует о достаточно высокой степени достоверности разработанных моделей.

Анализ цифровой модели четвертичных отложений показал, что их средняя мощность составляет $30,2 \pm 0,34$ м, а средняя абсолютная отметка подошвы – $104,5 \pm 0,38$ м. Мощности колеблются от 0 до 264 м, абсолютные отметки подошвы – от -124 до 155,7 м.

Минимальная средняя мощность четвертичных отложений отмечается для Клинцовского грабена Воронежской антеклизы (15,9 м), Гремячского выступа Воронежской антеклизы (16,3 м) и Украинского щита (19,2 м). Максимальные значения средней мощности четвертичных отложений отмечаются на Северной ступени Припятского прогиба (40,3 м) и Северо-Припятском плече (32,0 м). Максимальные мощности обнаруживаются в единичных скважинах на Брагинско-Лоевской седловине (143,2 м), на Северо-Припятском плече (155,0 м), на Северной ступени Припятского прогиба (149,9 м) и Центральном грабене Припятского прогиба (264,0 м).

Средние значения абсолютных отметок подошвы четвертичных отложений изменяются от 84,1 м (Днепровско-Донецкий прогиб) до 131,5 м (Гремячий выступ Воронежской антеклизы). Средняя величина абсолютной высоты подошвы составляет 104,8 м. Наиболее высокие отметки подошвы четвертичных отложений характерны для структур Воронежской антеклизы (Гремячий выступ, Клинцовский грабен) и Украинского щита. Среднее значение абсолютных отметок подошвы на Украинском щите составляет 124,5 м. Наиболее низкие отметки подошвы четвертичных отложений характерны для Днепровско-Донецкого прогиба (среднее значение составляет 84,1 м) и северной ступени Припятского прогиба (95,6 м).

Анализ цифровой модели подошвы четвертичных отложений с помощью алгоритма детектора границ (Canny edge detector) свидетельствует о том, что некоторая часть установленных структур связана с разрывными нарушениями, проникающими в чехол четвертичных отложений, и частично проявляется в виде границ тектонических структур. Выделенные границы практически не имеют связи с современной гидрографической сетью, в то время как границы, выявленные на цифровой модели высот земной поверхности, показывают обратное.

Пространственная структура уклонов подошвы не имеет четкой привязки к современному рельефу и гидрографической сети, а анализ кривизны поверхности подошвы четвертичных отложений отдельно для профиля (Profile Curvature) и для поверхности (Plan Curvature) в первом случае показал наличие нескольких кольцеобразных структур, совпадающих с участками, где имеет место резкое

увеличение мощности четвертичных отложений, а во втором, на основе плановой (горизонтальной) кривизны, позволил выделить зоны сноса и накопления материала.

Разработка цифровых моделей карт четвертичных отложений позволяет оперативно использовать накопленный в базах данных фактический материал и решать задачи по рациональному использованию недр, выявлению новых участков полезных ископаемых, мониторингу их состояния.

Исследование выполнено в рамках реализации НИР № 4.02 «Разработка геоинформационных моделей кайнозойских отложений территории Беларусь для прогнозирования новых наиболее доступных месторождений минерального сырья и управления минерально-сырьевой базы» 10.4 подпрограммы «Белорусские недра» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геология** Беларусь / А. С. Махнach [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларусь, 2001. – 815 с.
2. **Изменения** в стратиграфических схемах неогеновых и четвертичных отложений Беларусь в связи с пересмотром границы между системами / А. В. Матвеев [и др.] // Доклады Национальной академии наук Беларусь. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 350–359.
3. **Мандер, Е. П.** Антропогенные отложения и развитие рельефа Белоруссии / Е. П. Мандер. – Минск, 1973. – 123 с.
4. **Матвеев, А. В.** Ледниковая формация антропогена Белоруссии / А. В. Матвеев. – Минск, 1976. – 160 с.
5. **Матвеев, А. В.** О влиянии неотектонических движений на характер антропогенного осадконакопления на территории Припятской впадины / А. В. Матвеев // Новое в стратиграфии, тектонике и четвертичной геологии Белоруссии. – Минск, 1979. – С. 128–135.
6. **Матвеев, А. В.** О генезисе ложа антропогенного покрова / А. В. Матвеев // Доледниковый рельеф Северо-Запада русской равнины. – Л. : ГО СССР, 1982. – С. 19–23.
7. **Нечипоренко, Л. А.** Условия залегания и тектоническая предопределенность антропогенного покрова Беларусь / Л. А. Нечипоренко. – Минск : Наука и техника, 1989. – 114 с.
8. **Павлова, А. И.** Анализ методов интерполирования высот точек для создания цифровых моделей рельефа / А. И. Павлова // Автометрия. – 2017. – Т. 53. – № 2. – С. 86–94.
9. **Рельеф Белорусского Полесья** / А. В. Матвеев [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1982. – 131 с.
10. **Силкин, К. Ю.** Геоинформационная система Golden Software Surfer 8 : учеб.-метод. пособие для вузов / К. Ю. Силкин. – Воронеж : ВГУ, 2008. – 65 с.
11. **Conrad, O.** SAGA – program structure and current state of implementation / O. Conrad // Göttinger Geographische Abhandlungen. – 2006. – Vol. 115. – P. 39–52.
12. **Köthe, R.** Development and use in practice of SAGA modules for high quality analysis of geodata / R. Köthe, M. Bock // Göttinger Geographische Abhandlungen. – 2006. – Vol. 115. – P. 85–96.
13. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)** [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/missionoverview.html>. – Date of access: 05.06.2023.
14. **Terrain Analysis: Principles and Applications** / Eds. J. P. Wilson, J. C. Gallant. – N. Y. : John Wiley & Sons, 2000. – 520 p.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 08.06.2023

Рэцэнзент M. A. Багдашараў

АСАБЛІВАСЦІ РАСПРАЦОЎКІ ЛІЧБАВАЙ МАДЭЛІ ЧАЦВЯРЦІЧНЫХ АДКЛАДАЎ ГОМЕЛЬСКАЙ ВОБЛАСЦІ

А. П. Гусеў, А. І. Паўлоўскі, С. У. Андрушка, В. Л. Маляренка

Гомельскі дзяржаўны ўніверсітэт імя Ф. Скарыны
вул. Савецкая, 104, 246028, Гомель, Беларусь

E-mail: andi_gusev@mail.ru, aipavlovsky@mail.ru, sandrushko@list.ru, molyarenko-vova@bk.ru

Разгледжаны асаблівасці стварэння лічбавых мадэляў чацвярцічных адкладаў для тэрыторыі Гомельскай вобласці з дапамогай геаінфармацыйных сістэм Golden Software Surfer і SAGA на аснове базы даных «Буравая вывучанасць Рэспублікі Беларусь». Набор алгарытмаў аналізу лічбавых мадэляў дазволіў атрыманы шэраг статыстычных хактартыстык чацвярцічных адкладаў, іх размеркаванне па асноўных тэктанічных структурах, сувязь з разрыўнымі парушэннямі, якія пранікаюць у чахол чацвярцічных адкладаў, што часткова прайўляеца ў выглядзе межаў тэктанічных структур. Вылучана некалькі колападобных структур, якія супадаюць з участкамі, на якіх мае месца рэзкае павелічэнне магутнасці чацвярцічных адкладаў, акрэслены зоны зносу і назапашвання матэрыялу. Устаноўлена, што распрацоўка лічбавых мадэлей чацвярцічных адкладаў дазваляе аператыру на выкарыстоўваць фактычны матэрыял і вырашыць задачы па рацыянальному выкарыстанні нетраў, выяўленні новых участкаў карысных выкапняў, маніторынгу іх стану.

Ключавыя слова: лічбавая мадэль, чацвярцічныя адклады, магутнасць, Гомельская вобласць, тэктанічныя структуры, метады інтэрпалацыі, GIS, Golden Software Surfer, SAGA, SRTM.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF A DIGITAL MODEL OF QUATERNARY SEDIMENTS OF THE GOMEL REGION

A. Gusev, A. Pavlovsky, S. Andrushko, V. Molyarenko

F. Skorina Gomel State University,
104 Sovetskaya St, 246028, Gomel, Belarus
E-mail: andi_gusev@mail.ru, aipavlovsky@mail.ru, sandrushko@list.ru, molyarenko-vova@bk.ru

The features of creating digital models of Quaternary deposits for the territory of the Gomel region using geographic information systems Golden Software Surfer and SAGA based on the database «Drilling knowledge of the Republic of Belarus» are considered. A set of algorithms for the analysis of digital models made it possible to obtain a number of statistical characteristics of Quaternary deposits, their distribution over the main tectonic structures, and their connection with faults penetrating into the cover of Quaternary deposits, which is partially manifested in the form of boundaries of tectonic structures. Several ring-shaped structures have been identified, coinciding with areas where there is a sharp increase in the thickness of Quaternary deposits, and zones of demolition and accumulation of material have been outlined. It has been established that the development of digital models of maps of Quaternary deposits allows you to quickly use the actual material and solve problems for the rational use of subsoil, identifying new areas of minerals, monitoring their condition.

Keywords: digital model, Quaternary deposits, thickness, Gomel region, tectonic structures, interpolation methods, GIS, Golden Software Surfer, SAGA, SRTM.

УДК 551.793

КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОВЕЖСКОГО ГОРИЗОНТА ПЛЕЙСТОЦЕНА БЕЛАРУСИ

А. В. Шидловская

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»
ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь
E-mail: anne.shidlovska@gmail.com

Приведен краткий обзор истории палинологического изучения беловежских отложений плейстоцена Беларуси. Охарактеризована эволюция взглядов на их возраст и место в стратиграфической схеме. Показан вклад белорусских палинологов в изучение строения отложений, растительности и климата беловежского времени.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ, плейстоцен, беловежский горизонт, Беларусь.

В стратиграфической схеме четвертичных отложений Беларуси [38] беловежский горизонт располагается между ледниками наревским и березинским горизонтами (табл. 1). Впервые данный горизонт как самостоятельный стратон был выделен в 1958 г. в разрезе скв. 153 у д. Борки Пружанского района Брестской области Л. Н. Вознячуком

и назван «кромерским», или «гюнц-миндельским», а в 1960 г. им же было предложено наименование «беловежский» [6]. Отложения ряда разрезов, которые на сегодняшний день, согласно принятой схеме, относятся к беловежским, долгое время считались более молодыми, «шкловскими», и помещались в днепровско-сожский межмореный интервал.

Таблица 1 – Стратиграфическая схема четвертичных отложений Беларуси (средний и верхний плейстоцен) [38]

Общая стратиграфическая шкала			Региональные стратиграфические подразделения	
Система	Отдел	Подотдел	Горизонт	Подгоризонт
Четвертичная	Плейстоцен	Верхний	Поозерский	Нарочанский
				Двинский
				Ловатский
				Кулаковский
			Муравинский	
		Средний	Припятский	Сожский
				Днепровский
				Александрийский
				Березинский
			Беловежский	Могилевский
				Нижнинский
				Борковский
		Наревский	Наревский	
			Брестский	Ружанский
				Варяжский

Беловежский горизонт коррелируется с мучкапским горизонтом в схеме центральных районов Европейской части России, фердинандувским комплексом плейстоцена Польши, тургеляйской свитой на территории Литвы, интерглациалами II–IV кромерского комплекса Нидерландов и др. [38].

На территории Беларуси известно более 30 местонахождений беловежских отложений, которые были изучены палинологическим методом (рис. 1).



Рисунок 1 – Карта-схема расположения разрезов беловежского горизонта плейстоцена Беларуси, изученных палинологически

При стратификации плейстоценовой толщи межледниковые отложения играют важную роль, поскольку являются маркирующими и позволяют определять относительный возраст подстилающих и перекрывающих их морен. Помимо этого, исследование данных отложений палеоботаническими методами позволяет получить представление об истории развития растительности и климата в соответствующие эпохи. Все это обуславливает актуальность изучения отложений беловежского горизонта, в составе которого присутствуют древнейшие в плейстоцене межледниковые отложения.

Сложность и неоднозначность суждений об относительном возрасте беловежских образований и определили цель настоящей работы – охарактеризовать основные вехи истории изучения данных отложений методом спорово-пыльцевого анализа и проследить эволюцию взглядов на их место в составе четвертичной толщи. Для этого использованы опубликованные материалы, в которых приведены результаты палинологических исследований отложений рассматриваемого горизонта и их стратиграфическая интерпретация.

В конце 50-х гг. прошлого века Леснянской геологоразведочной партией Управления геологии при Совете Министров БССР был пробурен ряд скважин на территории Беловежской пущи у д. Борки

Пружанского района Брестской области, которые вскрыли толщу межледниковых пород. Л. Н. Вознячук установил, что эти образования коррелянтны гюнц-миндельским (кромерским) отложениям Западной Европы [6]. Впоследствии по предложению Л. Н. Вознячука соответствующие образования стали именовать беловежскими, а древнеозерные отложения, вскрытые скв. 153 у д. Борки, были указаны в качестве стратотипа беловежского горизонта плейстоцена Беларуси. В принятой в настоящее время схеме четвертичных отложений они соответствуют только борковскому подгоризонту [38].

В результате палинологического анализа данных отложений, выполненного Н. А. Махнач, Э. П. Ко-бец, К. И. Демешко, было высказано предположение об их принадлежности к одинцовскому (рославльскому) горизонту [41], а позднее – к шкловскому, расположенному в схеме Н. А. Махнач между днепровским и московским (сожским) ледниками горизонтами среднего плейстоцена [22; 39]. Отложения шкловского (одинцовского, рославльского) горизонта отвечали межледниковою с двумя климатическими оптимумами, разделенными промежуточным похолоданием. Спорово-пыльцевые диаграммы разреза Борки сопоставлялись с нижним оптимумом этого межледниковою.

В 1960–1965 гг. при проведении геологической съемки в разных частях Беларуси серией скважин были вскрыты отложения, спорово-пыльцевые спектры из которых соответствовали таковым, по мнению разных авторов, либо из беловежских, либо из шкловских (одинцовских, рославльских) образований. К ним относятся, например, отложения, вскрытые скв. 360 у д. Рудавец Каменецкого района Брестской области (палинологический анализ выполнен Н. Ф. Тылиндус), скв. 1-п у д. Почтари Полоцкого района Витебской области (анализ выполнен Н. Ф. Тылиндус), скв. 13 у д. Красная Дуброва Речицкого района Гомельской области (анализ выполнен Н. А. Махнач [22; 41]), скв. 2 у г. п. Старобин Любансского (в настоящее время Солигорский) района Минской области (анализ выполнен Н. А. Махнач [19; 20]), скв. 19 у д. Залесье Кричевского района (анализ выполнен А. П. Римашевской, В. А. Палазник), скв. 3 у д. Сидоровичи Могилевского района (анализ выполнен И. А. Григорович), скв. 20 у д. Рудня Быховского (в настоящее время Славгородский) района (анализ выполнен Н. Ф. Тылиндус, Н. А. Махнач) Могилевской области и др.

Долгое время одновременно существовали две различные точки зрения на возраст беловежских отложений, а соответственно, и на возраст подстилающих и перекрывающих их морен. Так, в 1967 г. Л. Н. Вознячуком и Л. Т. Пузановым были опубликованы материалы изучения межледниковых отложений из разреза скв. 302 у д. Ляхи Пружанского района Брестской области, пробуренной Леснянской партией геолого-гидрогеологической экспедиции (палинологический анализ выполнен Р. Д. Степанюк) [4]. Полученная спорово-пыльцевая диаграмма указана авторами как наиболее полная на тот момент диаграмма беловежских отложений на территории Беларуси, на которой отражены два климатических оптимума, разделенных спектрами с высоким содержанием пыльцы недревесных растений. Опираясь на данные о сходстве «одинцовских» и «беловежских» спорово-пыльцевых диаграмм, а также о том, что образования беловежского возраста в ряде скважин вскрываются непосредственно ниже Александрийских (лихвинских) отложений, и на результаты проведенной межрегиональной корреляции, Л. Н. Вознячук утверждал, что беловежские и одинцовские отложения являются одновозрастными, долихвинскими, а также что московское (сожское) оледенение не является самостоятельным. Наиболее полное обоснование стратиграфического положения беловежского межледникового и соответствующего горизонта Л. Н. Вознячук представил в фундаментальном издании «Геология СССР. Том 3. Белорусская ССР», где он не только приводит ряд палинологиче-

ских диаграмм разрезов беловежского межледникового Беларуси, но также привлекает анализ фаунистических и флористических материалов, в том числе других регионов [8].

Примерно в то же время Н. А. Махнач были опубликованы результаты палинологических исследований межледниковых отложений, вскрытых скважиной у д. Углы Бобруйского района Могилевской области, пробуренной сотрудниками Института геологических наук Государственного геологического комитета СССР. Возраст изученной толщи установлен автором как одинцовский (рославльский) [18], а позднее – как шкловский [22]. Данные отложения залегают предположительно на двух моренных комплексах: первый представлен супесью серой с линзой песка, второй – супесью серой плотной валунной, а перекрываются толщей флювиогляциальных и моренных образований. Это дало автору основание сделать вывод о днепровско-московском (сожском) возрасте межледниковых отложений, а также о том, что перекрывающие их ледниковые отложения образовались во время самостоятельного московского (сожского) оледенения. В своей монографии Н. А. Махнач [22] также приводит ряд изученных ею и другими палинологами разрезов (Обухово, Пиваши, Рудавец, Щекотово и др.), ныне известных как беловежские, датируя их как шкловские. В этой работе были впервые опубликованы результаты реконструкции развития растительности на протяжении теплых интервалов плейстоцена и голоцен.

Важной вехой в изучении рассматриваемых отложений стало обнаружение в 1967 г. Г. И. Горецким и В. М. Мотузом межледниковой толщи, обнажающейся в овраге Нижнинский Ров близ г. Шклова Могилевской области [9]. Эта толща была вскрыта многочисленными расчистками и скважинами и изучалась комплексом методов. Впервые палинологическое изучение межледниковых отложений Нижнинского Рва было выполнено Н. А. Махнач [17; 22]. В рассматриваемом разрезе вскрыты болотные и озерные отложения, спорово-пыльцевые спектры из которых характеризуются двумя максимумами пыльцы широколиственных пород, разделенными зонами с доминированием пыльцевых зерен бересклета, сосны и травянистых растений.

Я. К. Еловичевой был выполнен палинологический анализ межледниковых отложений, вскрытых рядом расчисток и скважин в овраге Нижнинский Ров, выявлен богатый состав палинофлоры, проведено детальное палиностратиграфическое расчленение полученных спорово-пыльцевых диаграмм [11; 12; 23 и др.].

Результаты проведенных исследований позволили Н. А. Махнач и Г. И. Горецкому определить

возраст озерно-болотных отложений разреза Нижнинский Ров как рославльский (днепровско-сожский). Именно торфяники и гиттии данного местонахождения близ г. Шклов стали стратотипом шкловского горизонта в стратиграфической схеме Беларуси, предложенной авторским коллективом во главе с Н. А. Махнач в 1970 г. [39]. В стратиграфической схеме, принятой по итогам Межведомственного регионального стратиграфического совещания в 1981 г., присутствуют как шкловский (между днепровским и сожским), так и беловежский (между наревским и березинским) горизонты [27].

В то же время Л. Н. Вознячук утверждал, что межледниковые отложения в овраге Нижнинский Ров являются более древними и именно беловежскими [8]. Разногласия в определении возраста возникли в первую очередь из-за крайне сложного геологического строения четвертичной толщи в исследуемом регионе и залегания более древних плейстоценовых отложений вблизи земной поверхности. Существуют версии, согласно которым межледниковая толща залегает *in situ*, но многие исследователи сходятся на том, что данные образования имеют отторженцевую природу. На это указывает и сильная дислокированность четвертичной толщи в окрестностях Нижнинского Рва [5; 7; 9].

В 1980-е гг. повторное изучение межледниковых отложений Нижнинского Рва спорово-пыльцевым методом проводилось О. П. Кондратене, которая показала, что пыльцевые спектры, разделяющие максимумы пыльцы термофильных пород, имеют перигляциальный характер и соответствуют самостоятельному малому оледенению, не достигавшему территории Беларуси [16], что ранее было высказано Л. Н. Вознячуком [5; 7]. В тот же период Л. Н. Вознячуком впервые были охарактеризованы отдельные хроностратиграфические подразделения: беловежское межледниковые (горизонт), низинское малое оледенение (горизонт) и могилевское межледниковые (горизонт) [5; 7].

Доступность изучения и богатство полученного фактического материала позволили присвоить местонахождению межледниковых отложений в овраге Нижнинский Ров статус геологического памятника природы республиканского значения [14].

Ключевым моментом в решении вопроса о возрасте шкловских отложений стало изучение диатомовой флоры из межледниковых образований у д. Красная Дуброва Речицкого района Гомельской области, где в 1979–1980 гг. сотрудниками Белорусской геолого-гидрогеологической экспедиции и Института геохимии и геофизики АН БССР было проведено повторное бурение. Разрез Красная Дуброва палинологическим методом был впервые изучен Н. А. Мах-

нач, которая установила возраст вскрытой межледниковой толщи как рославльский (одинцовский, позднее – шкловский) [22; 41]. При повторном бурении были отобраны образцы не только для спорово-пыльцевого, но и для диатомового анализов, при этом диатомовые водоросли ни из шкловских, ни из беловежских отложений ранее не исследовались.

В результате Н. А. Махнач была получена спорово-пыльцевая диаграмма шкловского типа, характеризующаяся двумя максимумами пыльцы термофильных пород. На диаграмме, однако, прослеживались некоторые особенности, позволившие сопоставить ее с «раннеплейстоценовыми» диаграммами фойштедского интерглациала Германии и кромерия Восточной Англии. Н. А. Махнач предположила, что краснодубровские отложения могут быть долихвинскими (доалександрийскими) [24], что совпадало с мнением Л. Н. Вознячука [3; 8]. Изучив состав диатомовой флоры разреза Красная Дуброва, Г. К. Хурсевич и Л. П. Логинова показали, что она, хотя и является плейстоценовой, имеет несомненно более древний облик, чем Александрийская, а также характеризуется филогенетическим родством некоторых видов с плиоценовыми формами, т. е. является раннеплейстоценовой [24].

Позднее, в 1986 г., Н. А. Махнач и Т. Б. Рыловой [21] были опубликованы более полные результаты палинологических исследований межледниковых плейстоценовых отложений Речицкого Приднепровья, приведены спорово-пыльцевые диаграммы разрезов скв. 13Б и 55Б у д. Красная Дуброва, скв. 5 у д. Чкалово и скв. 41 у д. Рассвет Речицкого района Гомельской области. Новые исследования позволили авторам полностью согласиться с мнением Л. Н. Вознячука о синхронности шкловских и беловежских отложений, а также об их долихвинском возрасте и корреляции с кромерскими отложениями Западной Европы [5; 7]. Результаты палинологического изучения отложений скв. 55Б у д. Красная Дуброва убедительно свидетельствовали о перигляциальном характере спектров, разделяющих верхний и нижний максимумы широколиственных пород, аналогично таковым в разрезе Нижнинский Ров, по данным О. П. Кондратене [16].

С появлением новых материалов о возрасте вновь изученных доалександрийских (долихвинских) отложений в Речицком районе возникла необходимость в более детальном изучении стратотипа беловежского горизонта. В 1980 г. у д. Борки Пружанского района Брестской области Белорусской геолого-гидрогеологической экспедицией совместно с сотрудниками Института геохимии и геофизики АН БССР была пробурена скв. 2, образцы из керна которой изучены палинологическим и палеокарпологическим

методами [2]. Палинологический анализ межледниковой толщи выполнен Т. Б. Рыловой. Полученная спорово-пыльцевая диаграмма оказалась близка к составленной ранее Н. А. Махнач. Новые палинологические данные позволили признать одновозрастность изученных отложений с кромерскими образованиями Западной Европы.

Для уточнения геологического строения четвертичных отложений в рассматриваемом регионе в 1984 г. пробурена серия скважин по линии Борки – Нэзбодичи. Данные их геологического и палинологического изучения, выполненного В. М. Феденей и Т. Б. Рыловой, показали, что межледниковые беловежские отложения подстилаются наревской мореной и перекрываются березинскими ледниками образованиями, поверх которых залегает линза александрийских межледниковых отложений [40], что согласуется со сделанными ранее выводами.

Более полные сведения о беловежских отложениях, вскрытых в разрезе у д. Борки, получены в 90-е гг. прошлого века, когда Геофизической экспедицией производственного объединения «Белгеология» была пробурена скв. 2-Г. Благодаря полученным материалам удалось существенно дополнить палеоботаническую характеристику данных отложений. Т. Б. Рыловой [49] и О. П. Кондратене [48] получены сходные спорово-пыльцевые диаграммы, охватывающие весь климатический оптимум беловежского межледникового. Впервые в данном разрезе Г. К. Хурсевич была изучена диатомовая флора, состав которой был сопоставим с таковым из межледниковых отложений разреза Красная Дуброва.

В 1986–1987 гг. на территории Березовского района Брестской области проводились поисковые работы на бурые угли. Был пробурен ряд скважин, вскрывших отложения беловежского возраста. Среди них скв. 1279 у д. Стригин, скв. 1350 у д. Угляны, скв. 1474 у д. Голицы, а также скв. 1885 у д. Ятвэзь, расположенная на территории смежного Ивацевичского района. Палеоботаническое изучение разрезов данных скважин выполнено Т. Б. Рыловой и Ф. Ю. Величкевичем [1]. Березовский страторайон представляет собой уникальную местность, в пределах которой вскрыты отложения всех плейстоценовых оледенений, покрывавших данную территорию, и разделяющих их межледниковый – беловежского и александрийского, что позволяет уверенно проводить внутри- и межрегиональную корреляцию, а также реконструировать эволюцию природной среды на протяжении соответствующего интервала времени.

На основании результатов комплексных палеоботанических исследований разрезов на территории страны в 1996 г. был предложен проект новой стратиграфической схемы четвертичных отложений

Беларуси [36], где, в отличие от схемы 1981 г. [27], в наревско-березинском межморенном интервале были выделены три самостоятельных горизонта: беловежский, нижнинский и могилевский, а шкловский горизонт упразднен. Детальное обоснование такого расчленения было приведено белорусскими палеоботаниками и геологами в 1997 г. по результатам изучения разрезов на юго-западе Беларуси [15]. Биостратиграфическое расчленение беловежских и могилевских отложений выполнено Т. Б. Рыловой и И. Е. Савченко [28; 34] (табл. 2). В 2005 г. было предложено объединить вышеуказанные отложения в один беловежский горизонт, включающий три подгоризонта: борковский (назван по разрезу Борки), нижнинский и могилевский [37]. Такой вариант вошел в принятую в настоящее время стратиграфическую схему четвертичных отложений Беларуси [38].

При этом необходимо отметить, что в ряде авторских стратиграфических схем сохраняется выделение как беловежского, так и шкловского горизонтов. Так, в 2001 г. Я. К. Еловичевой опубликована монография «Эволюция природной среды антропогена Беларуси» [13], в которой обобщен многолетний труд автора по изучению отложений четвертичного периода методом спорово-пыльцевого анализа. Приведены не только палинологические данные, но и материалы ряда палеоботанических и палеофаунистических методов, а также предложен вариант привязки подразделений схемы к шкале морских изотопных ярусов. В стратиграфической схеме плейстоцена Беларуси, разработанной Я. К. Еловичевой, присутствуют одновременно и беловежский (стратотип – разрез Борки), и шкловский (стратотип – Нижнинский Ров) горизонты. Охарактеризованы соответствующие этапы развития растительности, а также реконструированы их климатические условия.

В двухтысячные годы проводились исследования ряда разрезов, вскрывших беловежские отложения на севере и востоке Беларуси в ходе различных инженерно-геологических и поисковых работ. Это разрезы скв. 132 и 40 у г. Бобруйска Могилевской области [29], расч. 1 и 3 у д. Обухово Верхнедвинского района Витебской области [25], скв. 82 у д. Станиславово [26] и 84 у д. Большое Бахово [32] Дубровенского района Витебской области, скв. 21Ф и 24Ф у г. Могилева [30], скв. 14 близ д. Зуи Полоцкого района и г. Новополоцка Витебской области [10; 31; 35]. Их анализ был выполнен Т. Б. Рыловой и И. Е. Савченко. По данным палинологических исследований, а в ряде разрезов – и по данным карнологического и диатомового анализов, был доказан беловежский возраст древнеозерных отложений, вскрытых названными скважинами, охарактеризованы палеогеографические условия их накопления.

Таблица 2 – Схема палиностратиграфического расчленения отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси, а также подстилающих его верхненаревских и перекрывающих нижнеберезинских отложений [28; 34; 38]

Система	Отдел	Подотдел	Горизонт	Подгоризонт	Пыльцевые зоны	
Четвертичная	Плейстоцен	Средний	Беловежский	Березинский	bz-s-1	NAP– <i>Betula–Larix</i>
				Могилевский	mg 5	<i>Betula–Pinus–Picea</i>
					mg 4	<i>Picea–Pinus–Betula–Carpinus</i>
					mg 3	<i>Carpinus–Quercus–Alnus</i>
					mg 2	<i>Quercus–Ulmus–Tilia</i>
				Нижнинский	mg 1	<i>Larix–Betula–Pinus</i>
					nz 3	NAP– <i>Betula nana</i>
					nz 2	<i>Pinus–Picea–Betula</i>
				Борковский	nz 1	NAP– <i>Larix–Betula</i>
					brk 8	<i>Pinus–Betula–Larix</i>
					brk 7	<i>Pinus–Picea–Betula</i>
					brk 6	<i>Pinus–Picea</i>
					brk 5	<i>Quercus–Picea</i>
					brk 4	<i>Quercus–Ulmus–Corylus</i>
					brk 3	<i>Quercus–Ulmus</i>
					brk 2	<i>Pinus–Betula</i>
				Наревский	brk 1	<i>Betula–Larix–Picea</i>
					nr-f-4	<i>Betula–Picea–Larix–NAP</i>
					nr-f-3	<i>Betula nana–Artemisia–Chenopodiaceae</i>
					nr-f-2	<i>Picea–NAP</i>
					nr-f-1	NAP– <i>Betula nana</i>

В 2006 г. Т. Б. Рыловой и И. Е. Савченко опубликованы результаты реконструкции растительности и климата межледниковых интервалов плейстоцена, в том числе беловежского и могилевского, с помощью метода совмещения климатических ареалов [33]. На основании палинологических данных по ряду опорных разрезов восстановлены последовательные этапы развития растительности для рассматриваемых промежутков времени, а также получены количественные показатели летних и зимних температур для каждой фазы данных межледниковых.

В 2016–2018 гг. на территории листа N-36-XIX (Могилев) Государственным предприятием «НПЦ по геологии» пробурен ряд поисковых скважин, которыми были вскрыты беловежские озерные отложения. Это скв. 21.2 у д. Шилов Угол Могилевского района [44; 50] и скв. 2Р и 4Р у д. Черенки Чаусского района Могилевской области [42; 43; 47]. Палинологическое обоснование возраста выполнено А. В. Шидловской и Т. Б. Рыловой. Вывод о беловежском возрасте изученных отложений также получен Т. В. Якубовской и Г. И. Литвинюком по данным палеокапологического анализа. Эти данные в совокупности с имеющимися палинологическими материалами позволили выполнить детальную реконструкцию растительности и климата борковского интервала беловежского времени на территории Могилевской равнины [46].

В 2023 г. опубликована работа, в которой с учетом новых данных приводится детальная характеристика спорово-пыльцевых зон, соответствующих им фаз развития растительности и динамики климата заключительных этапов наревского оледенения, а также всего борковского теплого интервала беловежского времени [45].

Таким образом, обзор истории изучения беловежских отложений на территории Беларуси методом спорово-пыльцевого анализа, начиная с 50-х гг. прошлого века, позволил проследить изменения взглядов на их относительный возраст. По нашему мнению, результаты исследований позволяют уверенно говорить об одновозрастности беловежских и выделявшихся ранее в стратиграфических схемах шкловских отложений, что и отражено в принятой в настоящее время стратиграфической схеме [38]. Однако некоторые специалисты все же допускают возможность существования в плейстоцене Беларуси как шкловского, так и беловежского этапов [13; 50]. Дальнейшие работы направлены на выяснение ранга стратонов, выделенных в составе сложно построенного беловежского горизонта, детальную стратиграфию и корреляцию данных подразделений, а также уточнение возраста подстилающих и перекрывающих их морен.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. **Березовский** страторайон плейстоцена Белоруссии / Ф. Ю. Величкевич [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 146 с.
2. **Богомолова, Л. Н.** Беловежские межледниковые отложения в стратотипическом разрезе у д. Борки / Л. Н. Богомолова, Т. Б. Рылова, Т. В. Якубовская // Проблемы плейстоцена. – Минск : Навука і тэхніка, 1985. – С. 135–143.
3. **Вазнячук, Л. Н.** Новая стратиграфическая схема плейстацэнавых адкладаў і асноўныя заканамернасці змен прыроднага асяроддзя ледавіковай вобласці Русскай раёніны ў антрапагене / Л. Н. Вазнячук // Даследаванні антрапагену Беларусі. – Мінск : Навука і тэхніка, 1978. – С. 81–86.
4. **Вознячук, Л. Н.** К вопросу о геологическом возрасте отложений беловежского межледникового / Л. Н. Вознячук, Л. Т. Пузанов // Доклады АН БССР. – 1967. – Т. 11, № 8. – С. 713–716.
5. **Вознячук, Л. Н.** Основные стратиграфические подразделения четвертичных отложений / Л. Н. Вознячук // Материалы по стратиграфии Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1981. – С. 137–151.
6. **Вознячук, Л. Н.** Отложения последнего межледникового на территории Белоруссии / Л. Н. Вознячук / Материалы по антропогену Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1961. – С. 159–217.
7. **Вознячук, Л. Н.** Проблемы гляциоплейстоцена Восточно-Европейской равнины / Л. Н. Вознячук // Проблемы плейстоцена. – Минск : Навука і тэхніка, 1985. – С. 8–55.
8. **Вознячук, Л. Н.** Четвертичная система / Л. Н. Вознячук, Н. М. Гришинский, Л. Т. Пузанов // Геология СССР. Т. 3. Белорусская ССР / под ред. А. В. Сидоренко. – М. : НЕДРА, 1971. – С. 231–290.
9. **Горецкий, Г. І.** Аллювиальная летопись великого Пра-Днепра / Г. И. Горецкий. – М. : Наука, 1970. – 491 с.
10. **Демидова, С. В.** Новые микропалеонтологические данные о среднем плейстоцене на территории Белорусского Поозерья / С. В. Демидова, Т. Б. Рылова // Современная микропалеонтология – проблемы и перспективы : тр. XVII Всерос. микропалеонтол. совещ., 24–29 сент. 2018 г., Казань, Россия / отв. ред.: М. С. Афанасьева, А. С. Алексеев. – М. : ПИН РАН, 2018. – С. 448–452.
11. **Еловичева, Я. К.** Характеристика межледниковых отложений, вскрытых скважиной Нижнинский Ров-30 / Я. К. Еловичева // Доклады АН БССР. – 1971. – Т. 15, № 9. – С. 833–836.
12. **Еловичева, Я. К.** Шкловские (рославльские) межледниковые отложения Белоруссии и смежных территорий / Я. К. Еловичева. – Минск : Навука і тэхніка. – 1979. – 184 с.
13. **Еловичева, Я. К.** Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным) / Я. К. Еловичева. – Минск : Белсэнс, 2001. – 292 с.
14. **Еловичева, Я. К.** Уникальный памятник природы «Нижнинский Ров» / Я. К. Еловичева // Географія. – 2016. – № 5. – С. 3–9.
15. **К стратиграфии** среднего плейстоцена Беларуси / Ф. Ю. Величкевич [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 1997. – Т. 5, № 4. – С. 68–84.
16. **Кондратене, О. П.** Условия залегания и палинологическая характеристика межледниковых отложений в овраге Нижнинский Ров / О. П. Кондратене, А. Ф. Санько // Проблемы плейстоцена. – Минск : Навука і тэхніка, 1985. – С. 101–124.
17. **Махнac, Н. А.** Материалы к характеристике межледниковых отложений у г. Шклова / Н. А. Махнac, В. А. Кузнецов, Е. П. Мандер // Доклады АН БССР. – 1970. – Т. 14, № 5. – С. 446–449.
18. **Махнac, Н. А.** О самостоятельности московского оледенения на территории Белоруссии / Н. А. Махнac // Доклады АН БССР. – 1966. – Т. 10, № 1. – С. 37–41.
19. **Махнac, Н. А.** Разрез рославльских (одинцовских, днепровско-московских) межледниковых отложений у г. п. Старобина / Н. А. Махнac // Стратиграфия, литология и полезные ископаемые БССР. – Минск : Навука і тэхніка, 1966. – С. 8–12.
20. **Махнac, Н. А.** Стратиграфическое значение растительности раннего и среднего антропогена Белоруссии / Н. А. Махнac // Материалы по антропогену Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1961. – С. 116–158.
21. **Махнac, Н. А.** Стратиграфическое расчленение древнеозерных плейстоценовых отложений Речицкого Приднепровья / Н. А. Махнac, Т. Б. Рылова // Плейстоцен Речицкого Приднепровья Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1986. – С. 56–75.
22. **Махнac, Н. А.** Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене / Н. А. Махнac. – Минск : Навука і тэхніка, 1971. – 212 с.

23. **Нижнинский Ров** (стратотипический разрез шкловского межледникова Белоруссии) / Г. И. Горецкий [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1987. – 273 с.
24. **Новые палеоботанические исследования древнеозерных плейстоценовых отложений разреза Красная Дуброва** / Н. А. Махнач [и др.] // Неогеновые отложения Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1982. – С. 37–53.
25. **Обнажение** Обухово – парагенетический разрез беловежского межледникова Беларуси / А. Ф. Санько [и др.] // Літасфера. – 2004. – № 2 (21). – С. 38–51.
26. **Отложения и флора беловежского межледникова на востоке Беларуси** / Т. В. Якубовская [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2005. – Т. 49, № 6. – С. 91–97.
27. **Решения** Межведомственного регионального стратиграфического совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Белоруссии, 1981 г. (с унифицированными стратиграфическими корреляционными таблицами) / под ред. В. С. Акимец [и др.]. – Л. : ВСЕГЕИ, 1983. – 135 с.
28. **Рылова, Т. Б.** Биостратиграфическое расчленение беловежского и александрийского межледниковых горизонтов плейстоцена на территории Беларуси / Т. Б. Рылова // Доклады НАН Беларуси. – 1998. – Т. 42, № 4. – С. 114–117.
29. **Рылова, Т. Б.** Возраст и палеогеографические условия формирования плейстоценовых озерных отложений у г. Бобруйска / Т. Б. Рылова, Г. Г. Король, И. Е. Савченко // Доклады НАН Беларуси. – 2003. – Т. 47, № 5. – С. 88–93.
30. **Рылова, Т. Б.** Новые данные к стратиграфическому расчленению плейстоценовых отложений в районе г. Могилев / Т. Б. Рылова, А. К. Карабанов, І. Е. Савченко // Геология и полезные ископаемые четвертичных отложений : материалы VIII Універ. геол. чтений, Минск, 3–4 апр. 2014 г. / редкол.: А. Ф. Санько (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Цифровая печать, 2014. – Ч. 1. – С. 23–26.
31. **Рылова, Т. Б.** Новые данные о беловежском межледниковье Беларуси / Т. Б. Рылова, С. В. Демидова // Проблемы геологии Беларуси и смежных территорий : материалы междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения акад. НАН Беларуси Александра Семеновича Махнача, Минск, 21–22 нояб. 2018 г. – Минск : СтройМедиаПроект, 2018. – С. 36–39.
32. **Рылова, Т. Б.** Разрез беловежского межледникова у д. Большое Бахово на востоке Беларуси / Т. Б. Рылова // Геология и полезные ископаемые четвертичных отложений : материалы VIII Універ. геол. чтений, 3–4 апр. 2014 г., Минск / редкол.: А. Ф. Санько (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Цифровая печать, 2014. – В 2 ч. Ч. 1. – С. 21–23.
33. **Рылова, Т. Б.** Растительность и климат межледниковых интервалов плейстоцена Беларуси по данным палинологических исследований / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Літасфера. – 2006. – № 1 (24). – С. 12–26.
34. **Рылова, Т. Б.** Реконструкция палеотемператур беловежского и могилевского межледниковых Беларуси / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48, № 4. – С. 87–91.
35. **Санько, А. Ф.** Зуи – новое местонахождение беловежских отложений в Белорусском Поозерье / А. Ф. Санько, Т. Б. Рылова, К. Ю. Балашов // Геология и полезные ископаемые четвертичных отложений : материалы VIII Універ. геол. чтений, 3–4 апр. 2014 г., Минск / редкол.: А. Ф. Санько (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Цифровая печать, 2014. – Ч. 1. – С. 27–30.
36. **Стратиграфическая** схема четвертичных (антропогенных) отложений Беларуси / Ф. Ю. Величкевич [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 1996. – Т. 4, № 6. – С. 75–87.
37. **Стратиграфическая** схема четвертичных отложений Беларуси / А. Ф. Санько [и др.] // Літасфера. – 2005. – № 1 (22). – С. 146–156.
38. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с. + прил. из 15 стратиграфических схем.
39. **Схема** стратиграфического расчленения четвертичных (антропогенных) отложений Белоруссии / Н. А. Махнач [и др.] // Доклады АН БССР. – 1970. – Т. 14, № 1. – С. 45–47.
40. **Феденя, В. М.** Новые данные о стратиграфическом положении беловежских межледниковых отложений в разрезе Борки / В. М. Феденя, Т. Б. Рылова // Доклады АН БССР. – 1987. – Т. 31, № 2. – С. 168–171.
41. **Цапенко, М. М.** К стратиграфии антропогенной толщи в долине Березины / М. М. Цапенко, Н. А. Махнач // Палеонтология и стратиграфия БССР. Вып. 5. – Минск : Навука і тэхніка, 1966. – С. 248–327.
42. **Шидловская, А. В.** О возрасте плейстоценовых отложений, вскрытых скважиной 2Р у д. Черенки Чаусского района Могилевской области / А. В. Шидловская, Г. И. Литвинюк // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., 27–29 сент. 2021 г., Брест – Брест : БрГУ, 2021. – С. 153–156.

43. Шидловская, А. В. О новом местонахождении беловежских отложений в Чаусском районе Могилевской области (Беларусь) / А. В. Шидловская, Г. И. Литвинюк // Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия : материалы XVII Междунар. науч. конф., 23–27 авг. 2021 г. / редкол.: А. В. Пугачевский [и др.]. – Минск : ИЭБ им. В. Ф. Купревича, 2021. – С. 207–210.

44. Шидловская, А. В. Палеоботаническое обоснование беловежского возраста древнеозерных плейстоценовых отложений, вскрытых у д. Шилов Угол в Могилевской области / А. В. Шидловская, Т. Б. Рылова, Т. В. Якубовская // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 38–54.

45. Шидловская, А. В. Палиностратиграфия и условия формирования отложений наревского (верхняя часть) и беловежского (борковский подгоризонт) горизонтов плейстоцена Беларуси / А. В. Шидловская, Т. Б. Рылова // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 77–98.

46. Шидловская, А. В. Растительность и климат борковского интервала беловежского времени плейстоцена на востоке Беларуси по материалам палинологических исследований / А. В. Шидловская // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. – 2022. – № 80. – С. 14–33.

47. Шидловская, А. В. Палеоботаническое обоснование возраста древнеозерных отложений, вскрытых скважинами 2Р и 4Р у д. Черенки Чаусского района Могилевской области / А. В. Шидловская, Г. И. Литвинюк // Літасфера. – 2022. – № 1 (56). – С. 40–48.

48. Якубовская, Т. В. Данные спорово-пыльцевого и палеокарпологического анализа разреза Борки-2Г стратотипа беловежского межледникова / Т. В. Якубовская, О. П. Кондратене // Доклады АН БССР. – 1991. – Т. 35, № 4. – С. 336–340.

49. Якубовская, Т. В. Новые данные о стратотипе беловежского межледникова / Т. В. Якубовская, Г. К. Хурсевич, Т. Б. Рылова // Доклады АН БССР. – 1991. – Т. 35, № 3. – С. 262–265.

50. Якубовская, Т. В. О шкловско-снайгупельской группе флоры плейстоцена и проблеме беловежского межледникова Беларуси / Т. В. Якубовская // Літасфера. – 2020. – № 1 (52). – С. 75–88.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 15.09.2023

Рэцэнзент С. У. Дзямідава

КАРОТКІ НАРЫС ГІСТОРЫ ПАЛІНАЛАГЧНЫХ ДАСЛЕДАВАННЯЎ БЕЛАВЕЖСКАГА ГАРЫЗОНТУ ПЛЕЙСТАЦЭНУ БЕЛАРУСІ

Г. В. Шыдлоўская

ДНУ «Інстытут прыродакарыстання НАН Беларусі»
вул. Ф. Скарыны, 10, 220076, Мінск, Беларусь
E-mail: anne.shidlovska@gmail.com

Прыведзены кароткі агляд гісторыі паліналагічнага вывучэння белавежскіх адкладаў плейстацэну Беларусі. Ахарактарызавана эвалюцыя поглядаў на іх узрост і месца ў стратыграфічнай схеме. Паказаны ўклад беларускіх палінолагаў у вывучэнне будовы адкладаў, расліннасці і клімату белавежскага часу.

Ключавыя слова: спорава-пылковы аналіз, плейстацэн, белавежскі гарызонт, Беларусь.

A BRIEF REVIEW OF PALYNOLOGICAL STUDIES HISTORY OF THE BELOVEZHIAN HORIZON OF PLEISTOCENE OF BELARUS

A. Shidlovskaya

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus
10 F. Skaryna St, 220076, Minsk, Belarus
E-mail: anne.shidlovska@gmail.com

The article contains a brief review of the history of palynological studies of the Belovezhian deposits (Pleistocene of Belarus). The evolution of views on their age and place in the stratigraphic scheme is characterized. The contribution of Belarusian palynologists to the study of the structure of sediments, vegetation and climate of the Belovezhian time is shown.

Keywords: spore-pollen analysis, Pleistocene, Belovezhian horizon, Belarus.

УДК 551.4.07[476.1/4.6]

РЕЛЬЕФ ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БЕЛАРУСИ В МУРАВИНСКОЕ МЕЖЛЕДНИКОВЬЕ

А. В. Матвеев

Институт природопользования НАН Беларуси
ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь
E-mail: matveyev@nature-nas.by

На основании исследования разрезов свыше 200 буровых скважин, результатов спорово-пыльцевого анализа около 60 разрезов, полевых работ и опубликованных материалов построена схема рельефа Центральной Беларуси в муравинское межледникование. Выявленные типы рельефа подразделяются на сформировавшиеся в муравинское время и унаследованные от предшествующего позднеприпятского (сожского) оледенения. В целом палеорельеф подобен современному, но есть и некоторые отличия, которые объясняются особенностями морфогенеза поозерско-голоценового этапа, которые привели к снижению абсолютных отметок земной поверхности, возрастанию глубины и частоты расчленения, некоторому увеличению площади озерно-ледниковых низин (равнин) и краевых ледниковых возвышенностей.

Ключевые слова: муравинское межледникование, отложения, рельеф, генетические типы, территория Центральной Беларуси.

ВВЕДЕНИЕ

Выполненные ранее работы по изучению направленности развития природных условий на территории Белорусского Полесья [6; 7; 9] показали, что близкие к современным природные условия сформировались уже в муравинское время, а после этого рельеф, растительность, ландшафты развились в значительной степени унаследованно, под влиянием изменений климата, антропогенной деятельности, современных геологических процессов. Исходя из этого для оценок состояния современных природных комплексов, выделения трендов природных условий, факторов, их определяющих, обоснования на этой основе прогнозов на ближайшую и более отдаленную перспективы представляется целесообразным анализировать этап времени, начиная с муравинского межледникования. Поэтому при выполнении в Институте природопользования НАН Беларуси проекта «Оценка степени опасности геологической среды для жизнедеятельности населения на территории Центральной Беларуси на основании исследований направленности развития ландшафтов, геодинамических, гидрогеологических и геохимических условий» (2021–2025) ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на одном из первых этапов работ составлена схема палеорельефа муравинского времени, на базе которой впоследствии с использованием результатов спорово-пыльцевых анализов намечено реконструировать палеоландшафты и сопоставить их с современными природными комплексами. Полученные результа-

ты по изучению рельефа Центрально-Белорусского региона в муравинское межледникование приведены в представляемой статье.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Для исследования особенностей строения земной поверхности муравинского времени использованы разрезы (более 200) скважин, пробуренных в разные годы Государственным предприятием «НПЦ по геологии» (рис. 1). Абсолютные высоты поверхности наиболее достоверно устанавливались по разрезам, вскрывшим изученные палинологическими методами межледниковые отложения (всего около 60 разрезов). Кроме того, для этой цели использовались также специально не исследованные, но типичные межледниковые отложения (торф, сапропель, гумусированные пески, супеси и др.). Достаточно часто высотные отметки муравинской поверхности устанавливались по кровле ледниковых комплексов, которые не перекрыты поозерско-голоценовыми отложениями или перекрыты их маломощной (до 1,0–1,5 м) толщей, в случае более значительной мощности такой покрышки высоты определялись примерно по отметкам поверхности средней ее части. При этом учитывались возможные последствия денудации как в муравинское, так и в поозерско-голоценовое время.

Анализ существующих геоморфологических карт [1; 2] показывает, что на исследованной территории абсолютно преобладают типы и формы ледникового рельефа позднеприпятского (сожского)

возраста. Однако на небольших площадях в крайней восточной части региона могут встречаться локальные фрагменты ледникового рельефа раннеприпятского (днепровского) возраста. Судя по топокартам, поверхность этих участков практически не отличается от смежных одинаковых по генезису сожских образований. Поэтому при описании особенностей генетических типов рельефа они ниже специально не рассматриваются.

После выявления абсолютных отметок земной поверхности в муравинское межледниковые эти данные наносились на соответствующую схему, а затем с учетом опубликованных материалов [1–3; 6; 8; 10] и состава вскрытых при бурении отложений реконструировались изогипсы и основные генетические типы рельефа (рис. 2). При этом учитывался установленный ранее постседиментационный денудационный срез отдельных возвышенностей на 20–30 м [5].

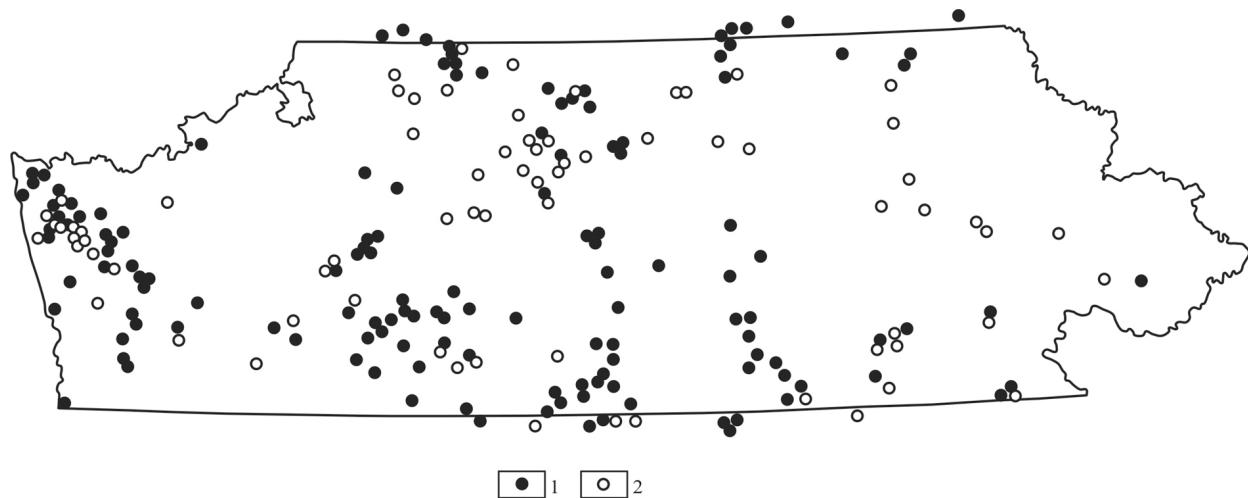


Рисунок 1 – Схема расположения скважин, разрезы которых были использованы для изучения муравинских отложений (1), разрезы муравинских отложений (2), охарактеризованные спорово-пыльцевыми данными

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЛЬЕФА

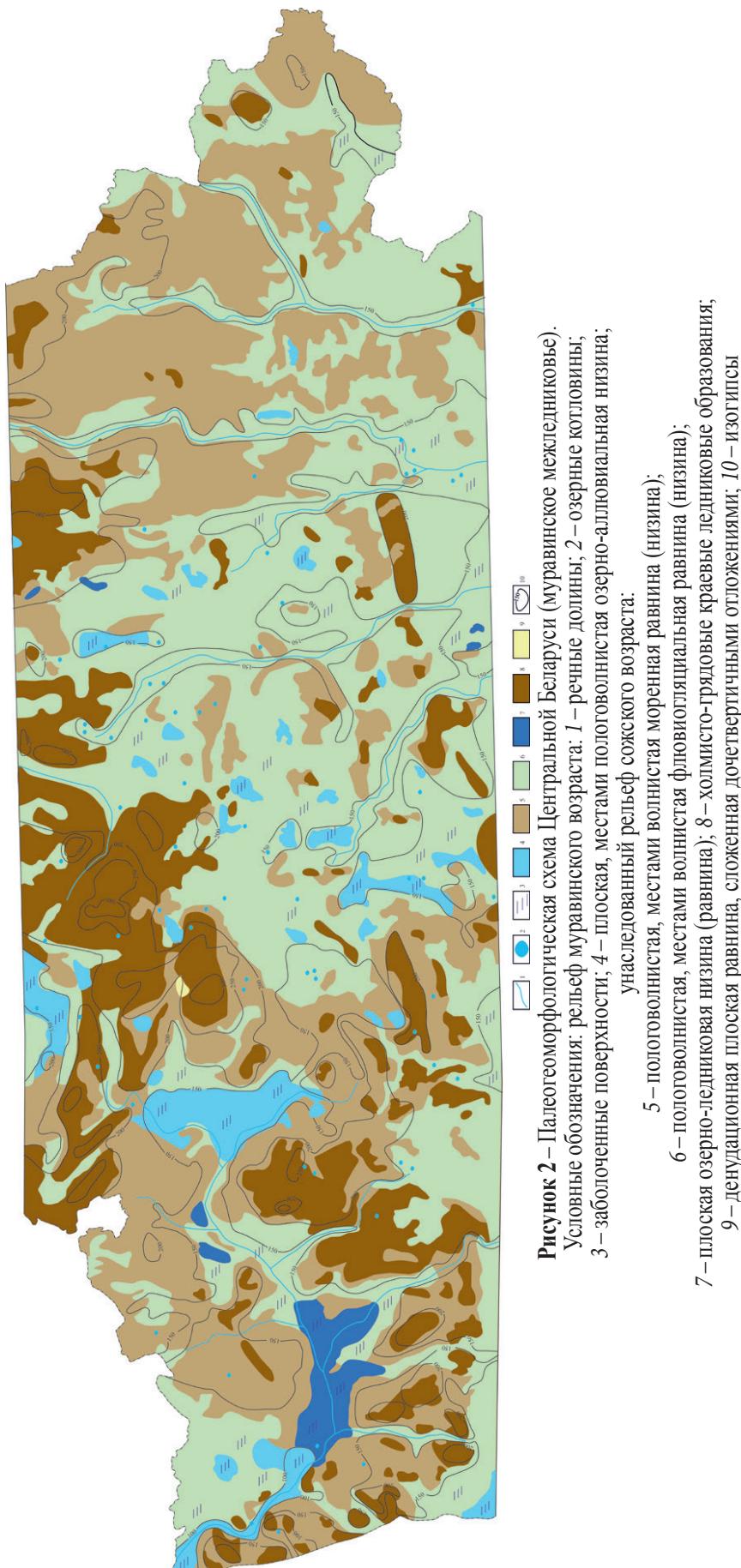
Анализ выполненных построений показал, что амплитуда высот земной поверхности в муравинское межледниковые варьировалась от 340–370 м на возвышенностях до 100 м и ниже на наиболее пониженных участках. В общем распределении высот четко выделяются повышенная западная часть региона (на значительных площадях абсолютные отметки превышают 150–250 м), наиболее выровненная и пониженная центральная (абсолютные отметки варьируют около 150 м) и относительно повышенная (с наиболее распространенными высотами 150–200 м) восточная. Вся территория дренировалась довольно густой сетью палеорек (Неманом, Березиной, Днепром, Птичью и их притоками).

Обращает на себя внимание дугообразное расположение в западной части региона наиболее высоких категорий рельефа. Одна дуга прослеживается от д. Борты Ошмянского района на границе с Литвой на Ивенец – Воложин и восточнее Плещениц, а другая – от границы с Польшей юго-западнее Гродно на Волковыск – Слоним – Новогрудок. Эти дуги разделены понижением, унаследованным долиной современного Немана и, возможно, относятся

к разным лопастям сожского ледникового покрова либо к разным его фазам.

Анализ генетических особенностей отложений, образующих муравинскую поверхность, свидетельствует, что четко различались типы и виды рельефа, сформированные в межледниковое время (аллювиальные, озерно-аллювиальные, болотные низины, озерные котловины) и унаследованные от предшествующего ледникового этапа (флювиогляциальные, моренные низины и равнины, озерно-ледниковые низины и грядово-холмистый рельеф краевых ледниковых образований, локально – равнина, сложенная дочетвертичными отложениями).

Среди собственно муравинского рельефа достаточно широко представлены долины палеорек. В связи с тем, что скважин, вскрывших аллювиальные отложения, оказалось немного, достаточно подробно охарактеризовать строение речных долин не представляется возможным. Можно только предполагать, что их ширина достигала 1–5 км. Врез на равнинных участках составлял до 15–20 м, при пересечении краевых ледниковых возвышенностей и гряд возрастал до 40–60 м и более. Абсолютные отметки пойм рек чаще составляли 120–140 м, на возвышенностях – 150 м и выше. Пойменные поверхности были нередко заболочены.



Весьма распространенной категорией рельефа были плоские озерно-аллювиальные низины (равнины). Абсолютные высоты их поверхности варьировали от 90–100 м в северо-западной части региона до 140–150 м на остальной территории, на небольших участках среди краевых ледниковых отложений достигали 180–190 м. Наибольшие площади озерно-аллювиальных поверхностей тяготели к западной части региона, где они нередко простирались на десятки километров при ширине до 2–5 км. В восточной части характеризуемой территории озерно-аллювиальные низины встречались реже, и их площади были значительно меньшими (обычно до 5–7 км²). Поверхность этих низин была сильно заболочена. Среди них, а также в понижениях флювиогляциальных, озерно-ледниковых, моренных равнин (низин) и краевых ледниковых образований довольно часто располагались озерные водоемы. Абсолютные отметки их уреза в основном варьировали в интервале 130–150 м (в прадолине, унаследованной позднее Неманом, в районе Гродненской возвышенности – до 100 м и ниже), на приподнятых участках моренных равнин – до 150–170 м, а среди краевых ледниковых образований – до 170–240 м.

Накопившиеся в водоемах озерные отложения имели мощность 2–10 м, но иногда достигали 20–25 м (озера вблизи д. Радица Крупского района, д. Пекаличи Светлогорского района, д. Серебрище Барановичского района, д. Литвиновичи Кореличского района). Учитывая такую толщину озерных осадков, можно предположить, что глубина озер могла достигать 30 м и более, но чаще не превышала 10–15 м, ширина и длина озер составляли несколько километров, некоторые озерные котловины к концу межледниковых были занесены осадками и заторфованы – в них озерные отложения перекрыты торфом мощностью до 2 м (д. Кузьминичи Любанского района).

На большей части земной поверхности Центрально-Белорусского региона в муравинское межледниковые были распространены типы рельефа, унаследованные от предшествующего оледенения: озерно-ледниковые низины (равнины), моренные и флювиогляциальные равнинны (низины) и грядово-холмистые краевые ледниковые образования.

Наибольшие площади плоских заболоченных озерно-ледниковых низин (равнин) приурочены к западной части региона, к понижению между дугами краевого ледникового рельефа, вдоль долины Палео-Немана. Этот участок рельефа простирается на 40–50 км при ширине 4–6 км, а абсолютные отметки поверхности составляют 135–145 м. На остальной территории озерно-ледниковые низины (равнины) встречались редко и небольши-

ми по площади участками (до 2–3 км²) с абсолютными высотами 140–155 м, а среди краевых ледниковых образований – до 200 м.

Моренные равнинны наибольшие территории занимали в западной и восточной частях региона. Они в основном имели пологоволнистую поверхность с колебаниями высот до 2 м, на границе с краевыми ледниковыми образованиями (в районе Новогрудской и Минской возвышенностей) иногда приобретали пологоволнистый характер с колебаниями абсолютных отметок до 5 м. Абсолютные высоты моренной поверхности варьировали главным образом от 150 до 200 м, изредка на Новогрудской и Минской возвышенностях, Ошмянских грядах достигали 250 м. Моренные равнинны возвышались над флювиогляциальными поверхностями чаще всего на 5–10 м, над озерно-ледниковыми – на 5–15 м.

Среди унаследованного рельефа самыми распространенными были флювиогляциальные равнинны (низины), но наибольшие их контуры тяготели к центральной части региона, к бассейну Палео-Березины. Флювиогляциальная поверхность преимущественно пологоволнистая, на границе с краевыми ледниковыми образованиями – волнистая, с колебаниями абсолютных отметок до 5–6 м. Врез рек на этих категориях рельефа чаще всего не превышал 10–12 м. На наиболее пониженных участках нередко распространялись болотные массивы. Абсолютные высоты флювиогляциального рельефа в основном составляли около 140–160 м, в крайней северо-западной части снижались до 100–130 м, вдоль южной границы региона и вдоль речных долин не превышали 140–150 м. На небольших участках среди краевых ледниковых образований возрастали до 170–200 м.

Самый высокий ярус земной поверхности в Центральной Беларуси в муравинское межледниковые формировали краевые ледниковые образования. Их наибольшие площади приурочены к западной части региона. Здесь же были сосредоточены и максимальные отметки земной поверхности, которые, как правило, превышали 200 м, достигая в пределах Новогрудской возвышенности и Ошмянских гряд 340–350 м, а на Минской возвышенности – 360–370 м. В восточной части характеризуемой территории высоты этого типа рельефа в целом заметно снижались и даже на наиболее приподнятых участках Оршанской возвышенности составляли 250–275 м.

Колебания отметок в пределах отдельных возвышенностей и гряд (глубина расчленения) достигала 50–70 м и более, над речными долинами они возвышались в пределах Гродненской, Слонимской, Волковысской и Оршанской возвышенностей до 100 м (реже до 150 м), на Минской возвышенности

и Ошмянских грядах до 150–180 м. Изредка среди гряд и возвышенностей в понижениях располагались озера, высота коренного берега над которыми достигала 50–60 м.

Завершая описание генетических типов рельефа муравинского времени, необходимо отметить, что восточнее озерно-аллювиальной низины в верховьях Палео-Немана среди ледниковых поверхностей выделен на отметках около 200 м небольшой фрагмент плоской денудационной равнины, сложенной меловыми породами.

В целом рельеф Центральной Беларуси в муравинское время в самом общем виде близок современной земной поверхности. Некоторые отличия связаны с возросшей глубиной и густотой расчленения краевых ледниковых возвышенностей и гряд, заметным уменьшением количества озерных водоемов, в меньшей степени изменились площади других типов рельефа за счет деятельности речных вод, иных процессов денудации.

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа разрезов буровых скважин, результатов полевых работ и литературных данных впервые построена схема палеорельефа территории Центральной Беларуси в муравинское межледниковые.

2. Типы и формы межледникового рельефа подразделялись на созданные процессами морфогенеза собственно в муравинское время и унаследованные от предшествовавшей стадии припятского оледенения.

3. Палеорельеф муравинского времени в целом был подобен современному, хотя и установлены некоторые отличия (увеличение на современной земной поверхности площади озерно-ледниковых низин, в меньшей степени – краевого ледникового рельефа, сокращение количества озерных котловин, повышение глубины и густоты расчленения рельефа), что обусловлено процессами морфогенеза и денудации в поозерско-голоценовое время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геамарфалагічна карта. М 1 : 1 250 000 // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 66–67.
2. Геоморфологическая карта. М 1 : 500 000 / гл. ред. Б. Н. Гурский. – М. : ГУГК СССР, 1990.
3. Горецкий, Г. И. Аллювиальная летопись Великого Пра-Днепра / Г. И. Горецкий. – М., 1970. – 491 с.
4. Матвеев, А. В. Геологические критерии оценки качества среды для обитания населения на территории западной части Белорусского Полесья / А. В. Матвеев, В. П. Зерницкая // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2019. – № 1. – С. 92–98.
5. Матвеев, А. В. Денудационный срез краевых возвышенностей Белоруссии / А. В. Матвеев // Морфогенез на территории Белоруссии / под ред. А. В. Матвеева, Э. А. Крутоус. – Минск, 1983. – С. 81–87.
6. Матвеев, А. В. История формирования рельефа Белоруссии / А. В. Матвеев. – Минск, 1990. – 143 с.
7. Матвеев, А. В. Районирование территории западной части Белорусского Полесья по степени комфорта природной среды для населения / А. В. Матвеев // Природопользование. – 2019. – № 3. – С. 154–162.
8. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск, 1988. – 317 с.
9. Матвеев, А. В. Рельеф земной поверхности восточной части Белорусского Полесья в муравинское межледниковые / А. В. Матвеев // Літасфера. – 2020. – № 1. – С. 115–121.
10. Палеогеография кайнозоя Беларуси / А. В. Матвеев [и др.] ; под ред. А. В. Матвеева. – Минск, 2002. – 164 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 27.07.2023

Рэцэнзент Я. А. Кухарык

РЭЛЬЕФ ТЭРЫТОРЫІ ЦЭНТРАЛЬНАЙ БЕЛАРУСІ Ў МУРАВІНСКАЕ МІЖЛЕДАВІКОЎЕ

А. В. Мацвеев

Інстытут прыродакарыстання НАН Беларусі
вул. Ф. Скарны, 10, 220076, Мінск, Беларусь
E-mail: matveyev@nature-nas.by

На падставе даследавання разрэзаў звыш 200 буравых свідравін, вынікаў паліналагічных аналізаў каля 60 разрэзаў, палявых даследаванняў і апублікованых матэрыялаў пабудавана схема рэльефу Цэнтральнай Беларусі ў муравінскім міжледавікоўі. Выяўленыя тыпы рэльефу падзяляюцца на сферміраваныя ў муравінскі

час ад папярэдняга прыпяцкага (сожскага) зледзянення. У цэлым палеарэльеф падобны сучаснаму, але ёсць і некаторыя адрозненні, якія тлумачацца асаблівасцямі морфагенезу паазёрска-галацэнавага этапу, якія прывялі да зніжэння абсолютных адзнак зямной паверхні, узрастання глыбіні і гушчыні расчлянення ўзвышшаў і град, прыкметнага памяншэння колькасці азёрных катлавін і інш.

Ключавыя слова: муравінскае міжледнікоўе, адклады, рэльеф, генетычныя тыпы, тэрыторыя Цэнтральнай Беларусі.

RELIEF OF THE CENTRAL BELARUS AREA IN THE MURAVIAN INTERGLACIAL

A. Matveyev

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus
10 F. Skoriny St, 220076, Minsk, Belarus
E-mail: matveyev@nature-nas.by

Based on the study of more than 200 borehole sections, spore-pollen data of about 60 sections, the results of field work and analysis of published materials, a map of the relief of Central Belarus in the Muravian interglacial was constructed. The identified types of relief are divided into two groups: formed in the Muravian time and inherited from the previous Late Pripyatian (Sozhian) glaciation. Generally, the paleorelief was similar to the modern one, but there were some differences that can be explained by the peculiarities of the morphogenesis of the Pozerian-Holocene stage, which led to decrease of height above mean sea level, increase of the depth, degree of dissection and a certain expand of square of a lacustrine-glacial lowlands (plains) and marginal glacial uplands.

Keywords: Muravian interglacial, sediments, relief, genetic types, territory of Central Belarus.

УДК 504.4.062.2:504.43

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАЦИОНАЛЬНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ И ОХРАНЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ИСТОЩЕНИЯ В БЕЛОРУССКОЙ ЧАСТИ БАССЕЙНА РЕКИ ЗАПАДНЫЙ БУГ

О. В. Васнёва, В. Е. Волков, О. А. Берёзко, Т. А. Кононова, Е. М. Черевач, **О. А. Буйневич**

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»

Филиал «Институт геологии»

ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

E-mail: nauka_ig@geologiya.by, gidrogeol@geologiya.by

На основе детального анализа многолетних данных режимных наблюдений за состоянием подземных вод в районах расположения группового водозабора г. Бреста Мухавецкий и обводненного месторождения песка и мела Хотиславское в Малоритском районе, геолого-гидрогеологических условий объектов, а также результатов гидродинамического прогноза их влияния разработаны мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения.

Ключевые слова: геолого-гидрогеологические условия, режимные наблюдения, водоотбор, гидродинамический прогноз, охрана подземных вод.

Природные условия территории Беларуси способствовали формированию большого ресурсного потенциала пресных подземных вод. Естественные (возобновляемые) ресурсы пресных подземных вод в целом по республике определены в количестве 43,56 млн м³/сут, в том числе в бассейне реки Западный Буг 1,4 млн м³/сут. Суммарный водоотбор пресных подземных вод в бассейне не превышает 7 % (от естественных ресурсов) [8].

Ухудшение состояния подземных вод в результате интенсивной антропогенной деятельности на отдельных территориях республики и на фоне возможного преобразования климата может привести к необратимым изменениям в режиме подземных вод. Весьма актуально прогнозировать, когда и где могут произойти такие негативные изменения состояния подземных вод. К основным техногенным объектам, которые приводят к пока допустимому изменению гидродинамического режима подземных вод, относятся крупные городские водозаборные сооружения, карьерные водоотливы на обводненных месторождениях и региональные мелиоративные системы.

Территория исследований характеризуется высокой степенью хозяйственного освоения, концентрацией многочисленных предприятий различных отраслей промышленности, густой сетью транспортных магистралей. Здесь размещены месторождения строительных песков, легкоплавких глин и суглинков, сапропеля, бурого угля и торфа. В Малоритском районе разведано крупное месторождение песка и мела Хотиславское, имеющее важное значение в народно-хозяйственном комплексе Брестской области.

Эксплуатация подземных вод осуществляется 13 групповыми водозаборами, а также сотнями одиночных скважин в городах и в сельской местности из четвертичных и дочетвертичных отложений в количестве 34,2 млн м³/год [8; 11].

Все перечисленные техногенные объекты в разной степени оказывают региональное влияние на изменение режима подземных вод, что подтверждается гидродинамическими и гидрохимическими данными наблюдений, полученными при проведении мониторинга подземных вод, на которых основываются наши выводы и предложены рекомендации по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения.

Рекомендации основаны на разработанных методологических подходах с использованием геофiltрационных региональных и локальных математических моделей гидродинамического режима с подсчетом эксплуатационных запасов на многочисленных месторождениях подземных вод республики [2; 3; 4; 7].

Для обоснования выбора ключевых объектов в бассейне реки Западный Буг и разработки рекомендаций авторами использованы статистические, графические методы обработки данных (корреляционный и тренд-анализ данных, построение временных графиков, диаграмм, карт гидроизогипс и гидроизопэз и т. д.), которые позволили выявить общие закономерности, региональные и локальные особенности формирования режима подземных вод в естественных и нарушенных условиях как в целом территории бассейна реки Западный Буг, так и в районах расположения ключевых объектов. На основании анализа геолого-гидрогеологических условий, полевых

экспериментальных гидродинамических исследований уточнены гидродинамические параметры: вертикальная проводимость (k_0/m_0), водопроводимость (T), мощность (m), водоотдача (μ), внутренние и внешние граничные условия и т. д. [3; 10].

В региональном плане для оценки уровенного режима подземных вод в естественных условиях анализировались ряды наблюдений за период с 1989 по 2021 г. Такой промежуток времени выбран исходя из того факта, что, начиная с 1989 г., отмечается существенная трансформация температурного режима в Беларуси – это самый продолжительный период потепления на протяжении последних почти 130 лет наблюдений [9].

Учитывая прямую зависимость хода уровней подземных вод от атмосферных осадков, установили, что с 2017 г. на значительной территории практически полностью исчезли зимние спады (минимумы) уровней, а летние минимумы сместились на осенние месяцы сентябрь и октябрь и только в отдельных случаях попадают на июнь и август [5].

В локальном плане (Каменюкский, Масевичский и Великоритский гидрогеологические посты) наблюдается гидравлическая связь уровней грунтовых вод пойм с поверхностными водами. На водоразделе режим грунтовых вод формируется, как правило, под влиянием метеорологических факторов, влияние реки несущественно. В гидродинамическом режиме напорных вод наблюдается выраженная синхронность колебаний уровней подземных вод четвертичных и дочетвертичных отложений, что подтверждает их тесную гидравлическую связь. Питание нижезалегающих водоносных горизонтов (комплексов) происходит в основном за счет нисходящей фильтрации из вышелегающих и подтока напорных вод подстилающих горизонтов и комплексов.

В региональном плане, исходя из анализа гидродинамических данных подземных вод в нарушенных условиях, установлено, что в районах расположения действующих водозаборов при современном сокращении водоотбора отмечается восстановление и некоторая стабилизация уровней подземных вод. В наиболее нагруженных частях групповых водозаборов положение уровней не превышает допустимых понижений, принятых при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. На гидродинамический режим подземных вод существенное воздействие оказывает добыча обводненных твердых полезных ископаемых под защитой карьерного водоотлива с последующим формированием региональной депрессионной воронки, в пределах которой происходит осушение водоносных горизонтов, заметное сокращение поверхностного стока, отмечается выход из строя мелиоративных систем и осушение водохранилищ.

Полученное таким образом понимание о целостности и продолжительности рядов наблюдений, гидродинамическом режиме, факторах формирования уровенного режима подземных вод в естественных и нарушенных условиях на территории исследований позволило подойти к определению критериев для выбора ключевых объектов, которыми явились: максимальная величина водоотбора/водопонижения, наличие представительной сети наблюдательных скважин в естественных и нарушенных эксплуатацией условиях, продолжительность рядов наблюдений и пр.

С учетом выбранных критериев к ключевым объектам отнесены: водозабор Мухавецкий производительностью 27,0 тыс. $\text{m}^3/\text{сут}$ (в перспективе – 87,4 тыс. $\text{m}^3/\text{сут}$) и месторождение песка и мела Хотиславское с водоотливом около 13,0 тыс. $\text{m}^3/\text{сут}$ (в перспективе – 32,5 тыс. $\text{m}^3/\text{сут}$). Объекты расположены в юго-западной части Брестского артезианского бассейна, где до глубины 850–1000 м и более выделяется зона активного водообмена, формирование которой определяется дренирующим влиянием речной сети.

Водозабор Мухавецкий (г. Брест) протяженностью 7,0 км расположен вдоль русла реки Мухавец, эксплуатирует объединенный высоконапорный водоносный нижнесеноманский терригенный и оксфордский терригенно-карбонатный комплексы ($K_2S_1 + J_3O$) и относится к гидродинамическому типу относительно изолированных месторождений. Его заметное гидродинамическое воздействие на режим поверхностных и грунтовых вод в результате увеличения водоотбора, ожидается в радиусе не менее 1,5 км [6].

Месторождение песка и мела Хотиславское (Малоритский район Брестской области) расположено в южной части бассейна реки Мухавец, в 250 м от государственной границы с Украиной и разрабатывается с 2010 г. Полезным ископаемым является мел сantonского яруса в коренном залегании и перекрывающие его пески озерно-аллювиального происхождения. Гидрогеологические условия характеризуются наличием двух гидравлически взаимосвязанных водоносных комплексов. Первым от поверхности залегает безнапорный водоносный комплекс современных болотных и верхнечетвертичных озерно-аллювиальных отложений мощностью в среднем 14–16 м, который подстилается обводненными, сantonскими отложениями верхнего мела. Влияние карьерного водоотлива может распространяться на несколько километров, охватывая действующие мелиоративные объекты и источники водоснабжения в близлежащих населенных пунктах [1; 6].

Для выбранных объектов составлены гидродинамические карты подземных вод в естественных и нарушенных эксплуатацией условиях с учетом воздействия водоотбора и водонижения. При этом построенные гидродинамические сетки позволили определить основные элементы потоков подземных вод (напоры, разность уровней (ΔS), градиенты, скорость фильтрации, расходы) и оценить их изменение под влиянием техногенных факторов.

К естественным условиям формирования гидродинамического режима подземных вод в районе расположения водозабора Мухавецкий относятся: степень развития гидрографической сети, расчлененность рельефа, геолого-гидрогеологические условия (фильтрационные и емкостные свойства водовмещающих пород, наличие водоупоров, структурное строение территории). Питание грунтовых вод осуществляется повсеместно через зону аэрации. Кроме того, в восточной и центральной частях территории на заболоченных землях и в долинах рек Мухавец, Рита и Каменка, восточнее изолинии нулевой разности уровней ($\Delta S = 0$), происходит распределенная разгрузка напорных вод эксплуатируемого водоносного комплекса в грунтовые воды и речную сеть, которая весьма замедлена из-за наличия слабоводопроницаемой мергельно-меловой толщи мощностью 130–150 м (рис. 1).

Уровенная поверхность напорных вод эксплуатируемого водоносного комплекса в естественных условиях была незначительно деформирована за счет ослабленного дренирующего влияния русла реки Мухавец. Поток напорных вод направлен от области питания в юго-западном и северо-западном направлениях.

В результате многолетней совместной эксплуатации Брестских городских водозаборов (Мухавецкий, Граевский, Западный, Северный) сформировалась общая региональная депрессия в высоконапорном водоносном комплексе [11]. Вместе с этим интенсивный водоотбор не оказал заметного изменения положения уровней грунтовых вод из-за их затрудненной гидравлической связи с эксплуатируемым водоносным комплексом, что подтверждается данными режимных наблюдений по створу наблюдательных скважин на водозаборе Мухавецкий. Вдоль линии наблюдательных скважин сформировался нисходящий режим фильтрации из грунтовых вод в напорный водоносный комплекс ($K_3 s_1$).

В районе месторождения песка и мела Хотиславское до его разработки в верховьях реки Рита гидродинамическая сетка естественного фильтрационного потока формировалась за счет наложе-

ния, с одной стороны, постоянного дренирующего влияния на грунтовые воды русла реки Рита с мелиоративной сетью, с другой – сезонного притока инфильтрационных вод от площадей питания с водоразделов. В паводковые периоды дренирующая роль водотоков ослабевала и происходило пополнение запасов подземных вод в зоне аэрации за счет подтопления. Основная область питания подземных вод находится на юге (за государственной границей Республики Беларусь) и характеризуется абсолютными отметками 150–164 м, через которые проходит региональный водораздел (рис. 2). В естественных условиях основные линии тока 1–5 на участке месторождения направлены от регионального водораздела в сторону реки Рита и ее канализированных правобережных притоков. При этом минимальная скорость потока, равная $5,39 \cdot 10^{-3}$ м/сут, характерна для ленты тока 4–5, которая разгружалась в мелиорированный заболоченный болотный массив.

Сопоставление показателей химического состава подземных и поверхностных вод на участке месторождения песка и мела Хотиславское указывает на их хорошую гидравлическую естественную взаимосвязь. Эти воды имеют общий гидрокарбонатный кальциевый тип пресных вод с минерализацией от 123 до 653 мг/дм³. В последнее время наметилась определенная стабилизация режима подземных вод. Этому способствовало влияние компенсационного и отводящего каналов, технологического водоема в старом котловане и русле реки Рита.

При дальнейшей разработке месторождения до проектной глубины скорость фильтрации воды из компенсационного канала значительно возрастет и может произойти увеличение отрыва уровня подземных вод, в том числе из-за кольматации dna и бортов канала. Для разработки прогноза гидродинамического режима подземных вод были проведены полевые экспериментальные гидродинамические исследования, которые включали обследование эксплуатационных и наблюдательных скважин, колодцев, гидродинамические эксперименты (опытные прокачки) с определением фильтрационных параметров водоносных горизонтов.

Откачки из скважин проведены до стабилизации уровня. После стабилизации наблюдалось его восстановление. Фильтрационные параметры определены с использованием аналитического и графо-аналитического методов. Наиболее удовлетворительные результаты получены при применении графо-аналитического метода временного прослеживания.

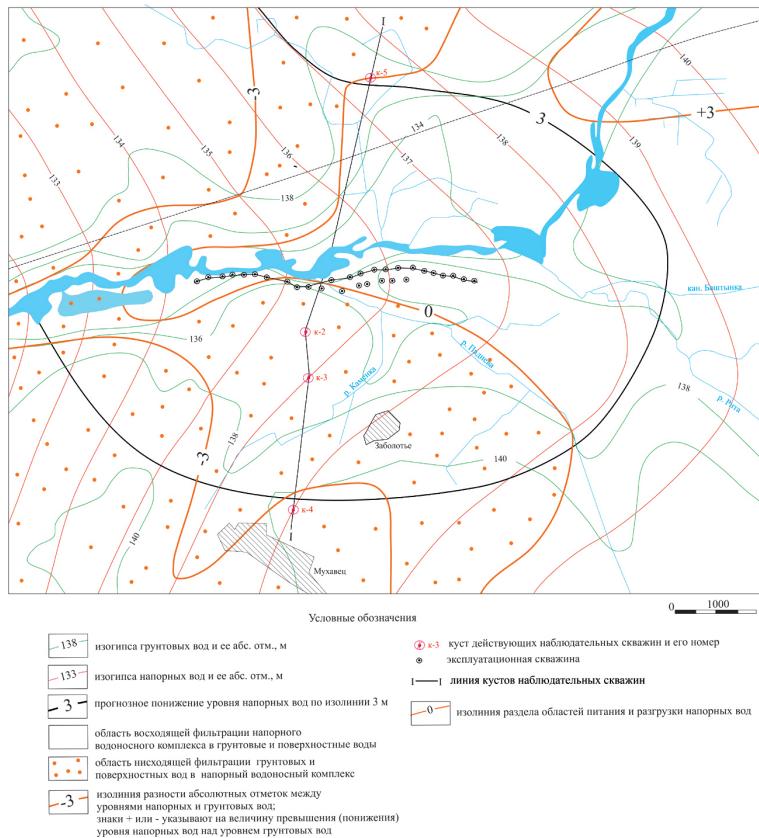


Рисунок 1 – Динамика подземных вод на участке водозабора Мухавецкий в естественных условиях

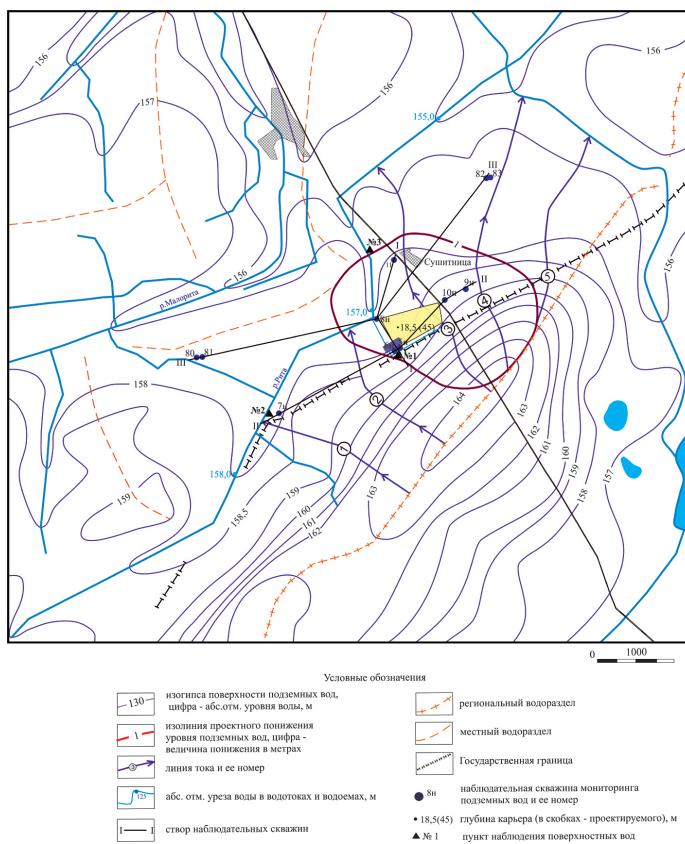


Рисунок 2 – Динамика грунтовых вод месторождения песка и мела Хотиславское в естественных условиях

Под влиянием водоотбора в перспективе вокруг водозабора Мухавецкий сформируется локальная депрессионная воронка радиусом 6–7 км, площадью более 40 км^2 , которая на северо-западе сольется с общей региональной депрессией Брестских водозаборов. Значительно увеличится общая площадь питания напорных вод сверху (рис. 3). В пределы влияния

депрессионной воронки попадут населенные пункты, мелиоративные системы, водотоки и водоемы с различной степенью гидродинамического воздействия. В связи с этим в этих населенных пунктах необходимо предусмотреть инвентаризацию и, при необходимости, углубление колодцев и бурение мелких скважин, а также переход на централизованное водоснабжение.

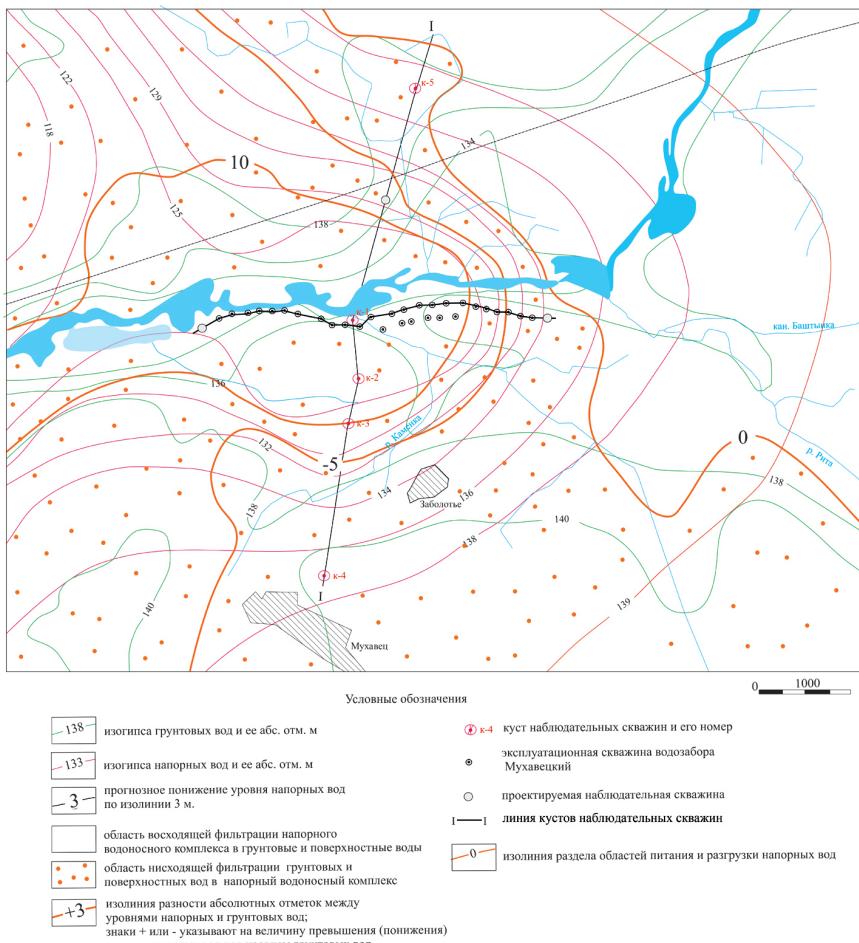


Рисунок 3 – Прогноз динамики подземных вод на участке водозабора Мухавецкий в нарушенных условиях

В прогнозируемых нарушенных условиях месторождения песка и мела Хотиславское основные направления линий тока контролируются преобладающим дренирующим влиянием водоотлива из карьера при проектной глубине отработки песка и мела. Вследствие региональной деформации гидродинамической сетки изменится направление линий тока и сократится приток подземных вод в речную сеть. Сформируется депрессионная воронка радиусом от 3,3 до 5,2 км, площадью около $14,5 \text{ км}^2$. Основные линии тока подземных вод будут направлены в сторону карьерного котлована. На этом участке практически прекратится правобережное подземное питание реки Рита (рис. 4).

На реке Каменка для поддержания стока в мелиоративных системах необходимо предусмот-

реть создание водохранилища. На мелиоративных объектах рекомендуется провести реконструкцию и шлюзование каналов, а также строительство прудов-накопителей атмосферных осадков (табл. 1).

На период окончания освоения месторождения песка и мела Хотиславское на уровенной поверхности подземных вод сформируется депрессионная воронка, в зону гидродинамического влияния попадут сельский населенный пункт д. Сушитница и мелиоративные системы «Вир» и «Сушитница». Под воздействием карьерного дренажа произойдет сокращение стока реки Рита, что неблагоприятно скажется на состоянии сельхозугодий и водообеспечении расположенного ниже по течению рыбхоза «Гусак».

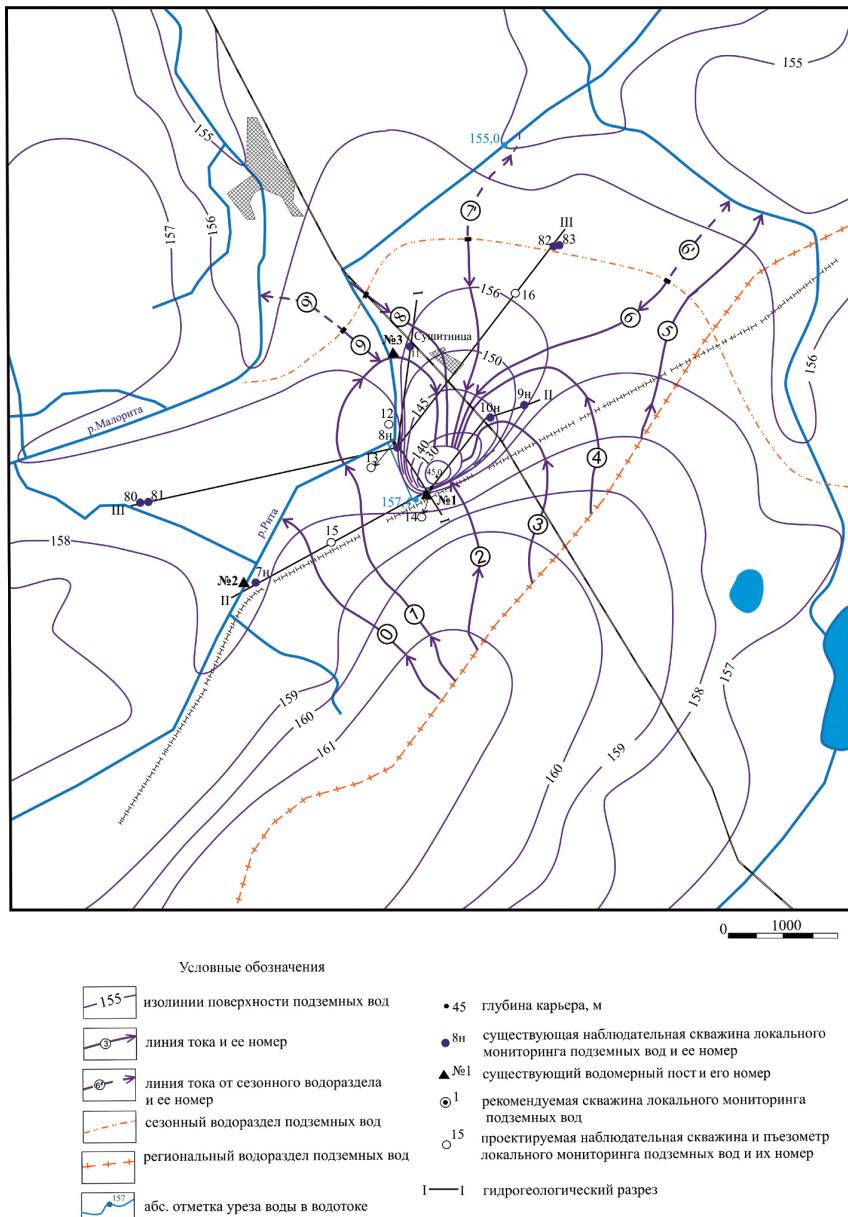


Рисунок 4 – Прогноз динамики подземных вод на месторождении песка и мела Хотиславское в нарушенных карьерным водоотливом условиях

Таблица 1 – Рекомендуемые мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в белорусской части бассейна реки Западный Буг (водозабор Мухавецкий)

Понижение, м	Населенный пункт	Мелиоративная система	Водоток, водоем	Мероприятия		
				Населенный пункт	Мелиоративный объект	Водоток
5-3	Деревни Заболотье, Кунак, Бульково	Шебрин, Бульково, Заболотье	Бульково	-	Реконструкция каналов	
5-10	Деревни Подлесье-Радванническое, Каменица-Жировецкая, Закни, Подлесье, дачи Тельмы-1,2	Шебрин, Закин	Реки Каменка, Паднева	Углубление колодцев, бурение мелких скважин	Создание прудов, накопителей, шлюзование каналов	
10-20 и более	Деревни Шебрин, Ямно, Вычулки, Волки	-	Река Каменка	Централизованное водоснабжение	-	Создание водохранилища

Для снижения негативного воздействия водоотлива предлагается выполнить комплекс водоохраных мероприятий: накопление атмосферных осадков в паводковые периоды в искусственном водохранилище (в верховьях рек Рита и Малорита);

усиление инфильтрационного питания подземных вод путем углубления и очистки русла реки Рита и отводящего канала к югу от карьера; создание второго компенсационного канала (табл. 2).

Таблица 2 – Рекомендуемые мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения в белорусской части бассейна р. Западный Буг (месторождение песка и мела Хотиславское)

Понижение, м	Населенный пункт	Мелиоративная система	Водоток, водоем	Мероприятия		
				Населенный пункт	Мелиоративный объект	Водоток
0,3–1,0	д. Сушитница	Река Рита	Вир, Сушитница, заказник «Липин»	Чистка и углубление колодцев	Чистка и реконструкция мелиоративных каналов, поддержание стока за счет водохранилища в верховьях рек Рита и Малорита	–
1–10		Река Рита, отводящий канал	Сушитница, заказник «Липин»	Бурение неглубоких скважин		Чистка отводящего и создание на юге второго канала
>10	Промышленная зона	Компенсационный канал, технологический водоем	–	Чистка, углубление компенсационного канала и технологического водоема		

В условиях трансформации гидродинамического режима, при котором увеличиваются градиенты горизонтальной и вертикальной фильтрации и ускоряются процессы загрязнения подземных вод, важным профилактическим мероприятием является выявление источников и очагов загрязнения подземных вод с последующей их ликвидацией.

Для рационального использования и в целях охраны подземных вод от истощения в пределах прогнозных депрессий даны рекомендации, которые предусматривают инвентаризацию и углубление пересыхающих колодцев, бурение мелких скважин, а также, при необходимости, переход на централизованное водоснабжение.

На реках в рекреационных целях и для поддержания стока в мелиоративных системах необхо-

димо создание водохранилищ; на мелиоративных объектах – проведение реконструкции и дополнительного шлюзования каналов, а также строительство небольших прудов-накопителей атмосферных осадков в паводковые периоды. В зоне влияния карьера для усиления инфильтрационного питания подземных вод необходимо углубление русла реки Рита и отводящего канала и создание второго компенсационного канала к югу от котлована.

Результаты исследований получены в ходе выполнения научно-исследовательской работы «Исследование взаимовлияния поверхностных и подземных вод в условиях изменяющегося климата» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» подпрограммы 10.1 «Природные ресурсы и их рациональное использование» на 2021–2025 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Комплексное** решение вопросов охраны окружающей среды при трансграничном воздействии разработки месторождения строительных материалов «Хотиславское» в Брестской области / В. П. Музыкин [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: Проблемы изучения и рационального использования : материалы Междунар. науч. конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко. – Минск, 2017. – С. 299–302.
2. **Коробейников, Б. И.** Особенности формирования эксплуатационных запасов различных типов месторождений подземных вод / Б. И. Коробейников, К. А. Курило // Водные ресурсы и устойчивое развитие экономики Беларуси : материалы науч.-техн. конф., Минск, 20–24 мая 1996 г. : в 2 т. / Центр. науч.-исслед. ин-т комплекс. использования вод. ресурсов ; редкол.: В.С. Усенко (пред.) [и др.]. – Минск, 1996. – Т. 2: Тезисы сообщений. – С. 155–156.
3. **Методика** создания многопластовых геофильтрационных моделей для обоснования рационального использования месторождений подземных вод / В. И. Фоменко [и др.] // Рациональное природопользование в районах избыточного увлажнения : тез. докл. всесоюз. конф., Светлогорск, 3–5 окт. 1989 г. / Калинингр. гос. ун-т. – Калининград, 1989. – С. 152–153.

4. Минкин, Е. Л. Взаимосвязь подземных и поверхностных вод и ее значение при решении некоторых гидрогеологических и водохозяйственных задач / Е. Л. Минкин. – М. : Стройиздат, 1973. – 103 с.
5. Мониторинг подземных вод / О. А. Березко [и др.] // Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2021 год / под общ. ред. М. И. Лемутовой. – Минск : Государственное учреждение «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», 2022. – С. 142–177.
6. Мониторинг трансграничного воздействия разработки месторождения «Хотиславское» (Беларусь) и перспективы обеспечения его экологической безопасности / О. И. Широков [и др.] // Материалы Третьей междунар. науч.-практ. конф. «Региональные геоэкологические проблемы в условиях устойчивого развития». – Ровно, 2018. – С. 395–402.
7. Основы гидрогеологических расчетов / Ф. М. Бочевер [и др.]. – 2-е изд. – М. : Недра, 1969. – 367 с.
8. Подземные воды / Т. А. Кононова [и др.] // Государственный водный кадастров. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2021 г.). – Минск : Минприроды, Минздрав, 2022. – С. 68–99.
9. Прогноз состояния природной среды Беларуси на период до 2035 года / В. М. Байчоров [и др.]; под общ. ред. В. С. Хомича ; Нац. акад. наук Беларуси [и др.]. – Минск : Беларус. наука, 2022. – 332 с.
10. Справочное руководство гидрогеолога / под общ. ред. В. М. Максимова. – М. : Недра, 1979. – 430 с.
11. Станкевич, Р. А. Артезианские воды Бреста и их использование: природные условия, история освоения и пути прогресса / Р. А. Станкевич. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2004. – 181 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 07.07.2023

Рэцэнзент В. I. Пацкевіч

РЭКАМЕНДАЦЫ ПА РАЦЫЯНАЛЬНЫМ ВЫКАРЫСТАННІ АХОВЕ ПАДЗЕМНЫХ ВОД АД ВЫЧАРПАННЯ Ў БЕЛАРУСКАЙ ЧАСТЦЫ БАСЕЙНА РАКІ ЗАХОДНІ БУГ

В. У. Васнёва, У. Я. Волкаў, В. А. Бярозка, Т. А. Конанава, А. М. Чэравач, В. А. Буйневіч

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: nauka_ig@geologiya.by, gidrogeol@geologiya.by

На аснове аналізу шматгадовых даных рэжымных назіранняў за станам падземных вод у раёне размяшчэння водазабору Мухавецкі і радовішча будаўнічых матэрыяляў Хаціслаўскае, апублікованых даных па асаблівасцях геолаг-гідрагеалагічных умоў тэрыторый даследаванняў, гідрадынамічнага прагнозу для аб'ектаў з парушанымі ўмовамі распрацаваны мерапрыемствы, накіраваныя на рацыйнальнае выкарыстанне і ахову падземных вод ад вычарпання.

Ключавыя слова: геолаг-гідрагеалагічныя ўмовы, рэжымныя назіранні, водаадбор, гідрадынамічны прагноз, ахова падземных вод.

RECOMMENDATIONS FOR THE RATIONAL USE AND PROTECTION OF GROUNDWATER FROM DEPLETION IN THE BELARUSIAN PART THE WESTERN BUG RIVER BASIN

O. Vasneva, V. Volkov, O. Berezko, T. Kononova, E. Cherevach, O. Buinevich

State Enterprise «Research and Production Center for Geology»
Branch «Institute of Geology»
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: nauka_ig@geologiya.by, gidrogeol@geologiya.by

On the basis of analysis of long-term data of regime observations of the state of groundwater in the area of the Mukhavetsky water intake and the Khotislavskoye deposit, published data on the features of the geological and hydrogeological conditions of the study areas, forecast of the hydrodynamic state of groundwater for objects with disturbed conditions, measures aimed at the rational use and protection of groundwater from depletion are developed.

Keywords: geological and hydrogeological conditions, regime observations, water sampling, hydrodynamic forecast, protection of groundwater.

ГЕАХІМІЯ

УДК 552.161/23(476)

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТИТОВ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ЗАПАДА БЕЛАРУСИ (УЧАСТОК «ЕЛЬНЯ»)

А. А. Толкачикова, О. А. Пискун, М. П. Гуринович, Н. С. Завадич, О. И. Криволап

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
Филиал «Институт геологии»

ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

E-mail: gmkf@geologiya.by, piskun_oleg@mail.ru, fundament@geologiya.by

Представлены результаты исследования малоизученных метасоматических пород участка «Ельня», расположенного на западе кристаллического фундамента Беларуси. Выявлены особенности их химизма и закономерности распределения малых элементов. Определены условия преобразования исходных пород. Сделан вывод, что измененные породы данного участка относятся к классу гидротермально-метасоматических с ведущей ролью проявления инфильтрационного и сопутствующего диффузационного метасоматоза. Установлено, что метасоматиты являются потенциально рудоносными на цветные и редкие металлы. Проявление «Ельня» принадлежит к комплексному сульфидно-полиметаллическому рудопроявлению жильного типа.

Ключевые слова: кристаллический фундамент, участок «Ельня», метасоматиты, геохимия, рудопроявление

ВВЕДЕНИЕ

В западном регионе докембрийского кристаллического фундамента Беларуси в районе между г. Мосты и г. Щучин, южнее проявления «Шнипки», выделен участок оруденения «Ельня». Рудопроявление, приуроченное к мощной зоне тектонических нарушений Щучинского разлома (рис. 1, 2), обусловлено присутствием здесь в разной степени метасоматически преобразованных пород с развитием в них сульфидной и магнетитовой минерализации. Локализовано оно в зонах дробления и милонитизации хлоритизированных, карбонатизированных, окварцованных, скаполитизированных, эпидотизированных, калишпатизированных, реже мусковитизированных, образований щучинской серии ($AR_1\text{-}\check{c}$), ультраметаморфического эндербит-чарнокитового комплекса ($AR_1\text{-e-}\check{c}$), в меньшей степени базитового березовского и комплекса высокотемпературных бластомилонитов ($AR_2\text{-bm}$). Породы фундамента на данном участке вскрыты скважинами М (Мосты) 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, Щ (Щучин) 26, ОП (оценочно-поисковые) 10, 11.

О наличии тел с богатой сульфидной вкрапленностью свидетельствуют данные как минералого-геохимических исследований, так и электроразведки, в результате проведения которой на этой территории были выделены зоны с аномальной поляризумостью (10–12 %). Более или менее четко выделяются 5 зон со средней мощностью 15–30 м и протяженностью

стую 200–400 м (по данным Л. К. Васильева, 1974). Рудные интервалы вскрыты на глубинах 165–340 м и представлены зонами прожилково-вкрашенной, гнездово-вкрашенной сульфидной и ильменит-магнетитовой минерализациями. Зоны располагаются согласно с простирацией контролирующего Щучинского разлома на северо-восток.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для изучения послужили образцы пород из керна 12 скважин, пробуренных Мостовской геологосъемочной партией (1970–1973) и Белорусской геолого-гидрологической экспедицией Республиканского унитарного предприятия «Белгеология» (1996–1999). Оптическим микроскопическим методом с использованием поляризационных микроскопов Альтами ПОЛАР 312, Carl Zeiss Axioskop 40 A Poi изучено более 300 шлифов разных типов метасоматических и неизмененных образований участка «Ельня», а также проведен минералогический количественный анализ 12 проб метасоматитов (Н. С. Завадич, Институт геологии, Минск). Для выявления особенностей химизма метасоматически измененных пород использовались аналитические данные 35 полных силикатных [4] и 130 спектрально-количественных анализов, выполненных в различных лабораториях (ПО «Центрказгеология», г. Караганда; Центральная лаборатория РУП «Белгеология»;

Институт минералогии и геохимии редких элементов, г. Москва), и 7 анализов, выполненных ICP-MS методом в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург, 2022). Также был проведен микрозондовый анализ минералов (Центральная лаборатория ВСЕГЕИ,

г. Санкт-Петербург). Процесс исследований заключался в комплексном анализе структурно-геологических, петрографических, минералогических и геохимических данных.

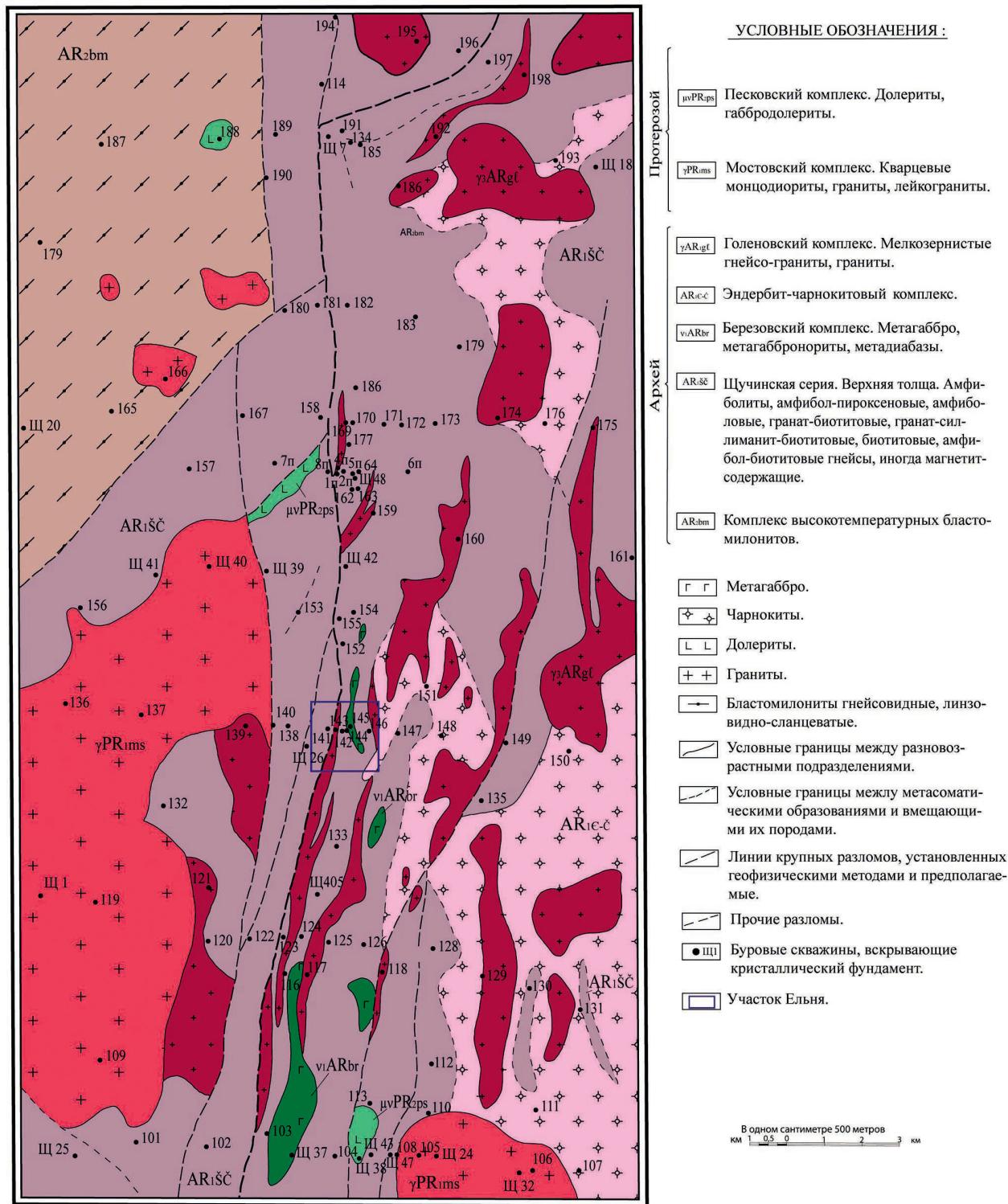
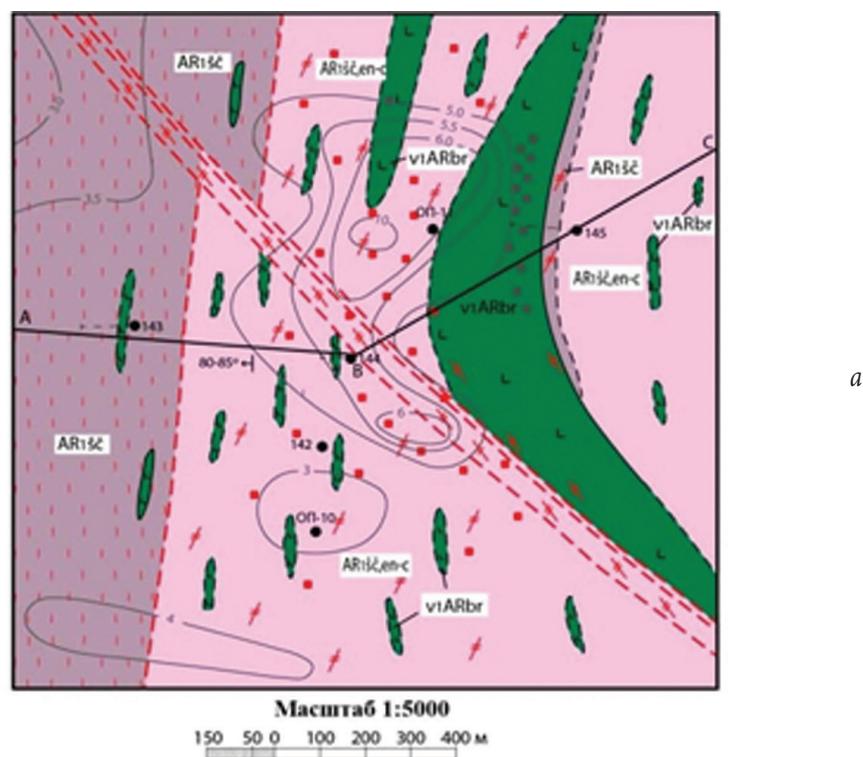


Рисунок 1 – Расположение участка «Ельня» на схематической геологической карте кристаллического фундамента запада Беларуси



РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-В-С

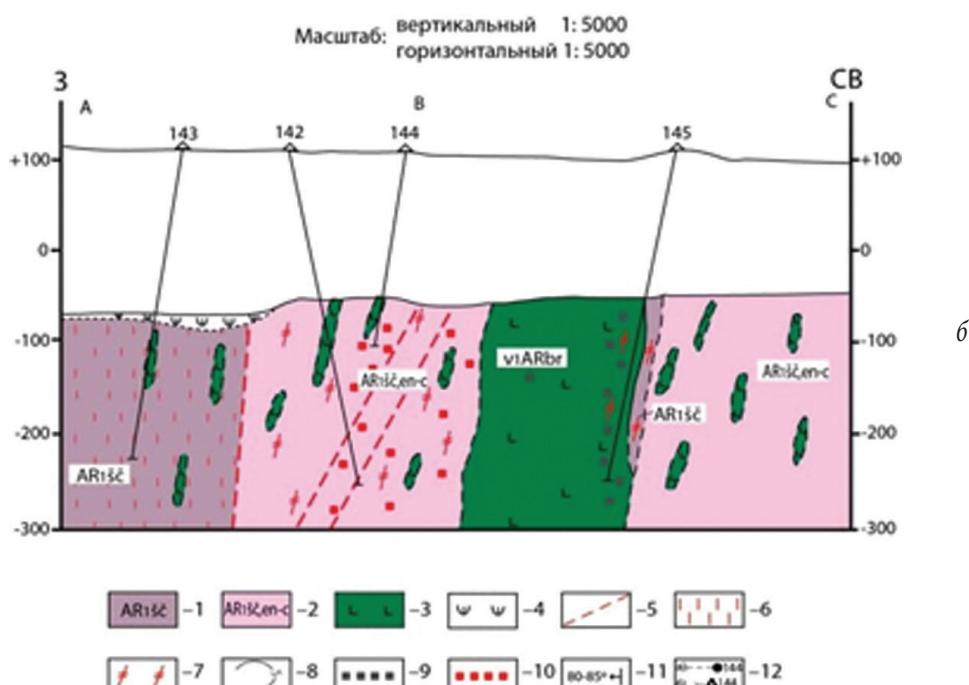
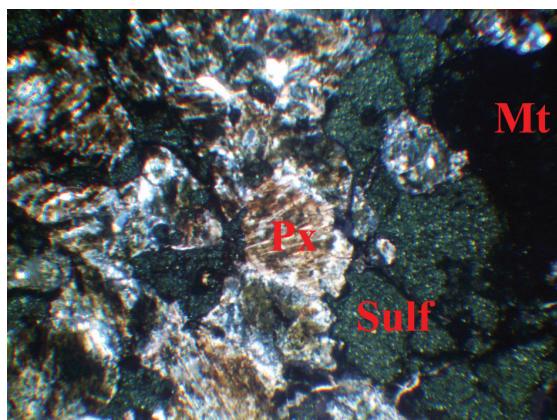


Рисунок 2 – Схематическая геологическая карта участка «Ельня» масштаба 1:5000:
 1 – щучинская серия (AR₁šč); 2 – эндербит-чарнокитовый комплекс (AR₁en-c); 3 – березовский комплекс (v₁ARbr);
 4 – кора выветривания; 5 – разломы; 6 – зона милонитизации; 7 – катаклазиты;
 8 – изолинии кажущейся поляризуемости (только на плане); 9 – участки, обогащенные магнетитом;
 10 – участки с густой сульфидной вкрапленностью; 11 – элементы залегания пород;
 12 – скважины, пробуренные Мостовской геологосъемочной партией их номера: а – на плане; б – на разрезе

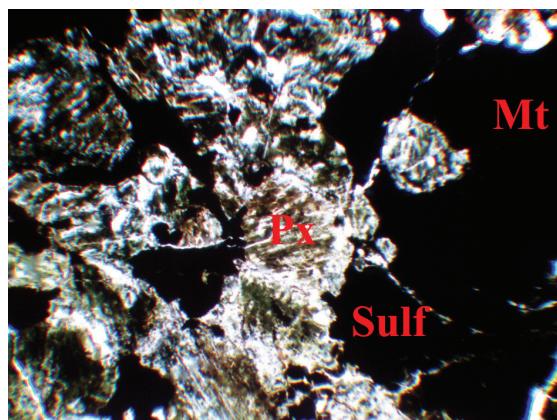
МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Породы проявления «Ельня» представлены в основном метасоматически измененными кристаллическими сланцами, плагиогнейсами, амфиболитами

ми, эндербитами, чарнокитами и бластомилонитами с развитием в них в отдельных зонах сульфидной и магнетитовой минерализации (рис. 3-7). Преобладающим типом пород являются измененные магнетит- и сульфидсодержащие кристаллические сланцы.

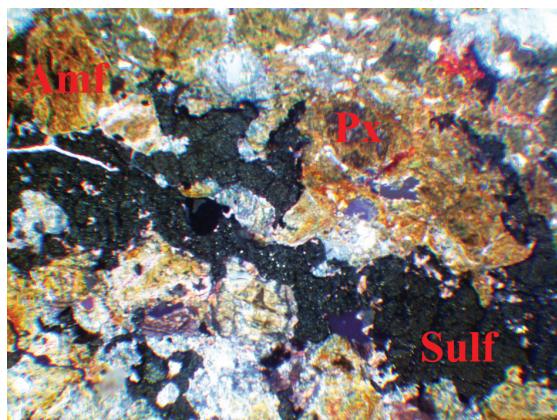


a

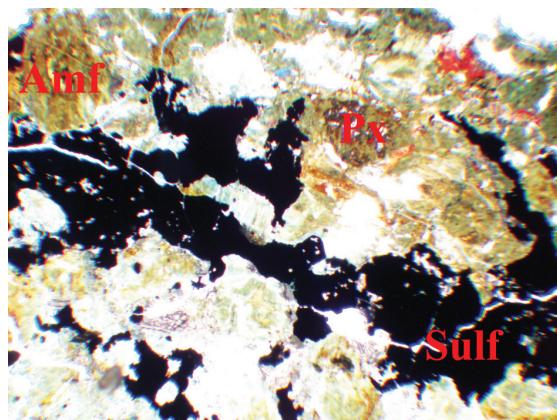


б

Рисунок 3 – Метасоматически измененный кристаллический сланец с магнетитом и сульфидами, скв. М 144, гл. 166 м. Здесь и далее – фото шлифа:
а – с анализатором; б – без анализатора; видимое поле шлифа 3,0×2,5 мм

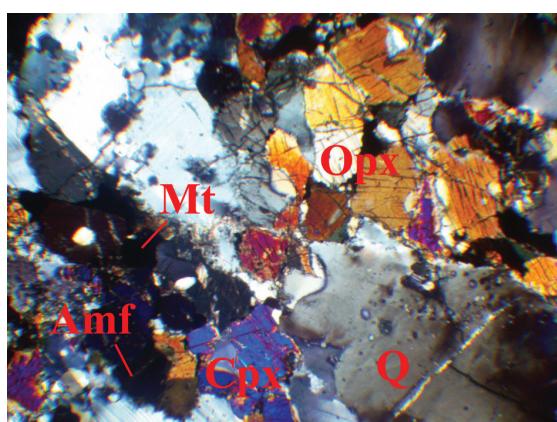


a

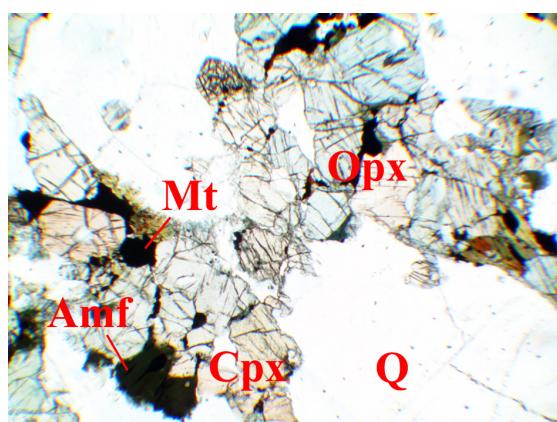


б

Рисунок 4 – Метасоматически измененный кристаллический сланец с магнетитом и сульфидами, скв. М 144, гл. 167 м



a



б

Рисунок 5 – Эндербит окварцованный с магнетитом, скв. М 142, гл. 329,2 м

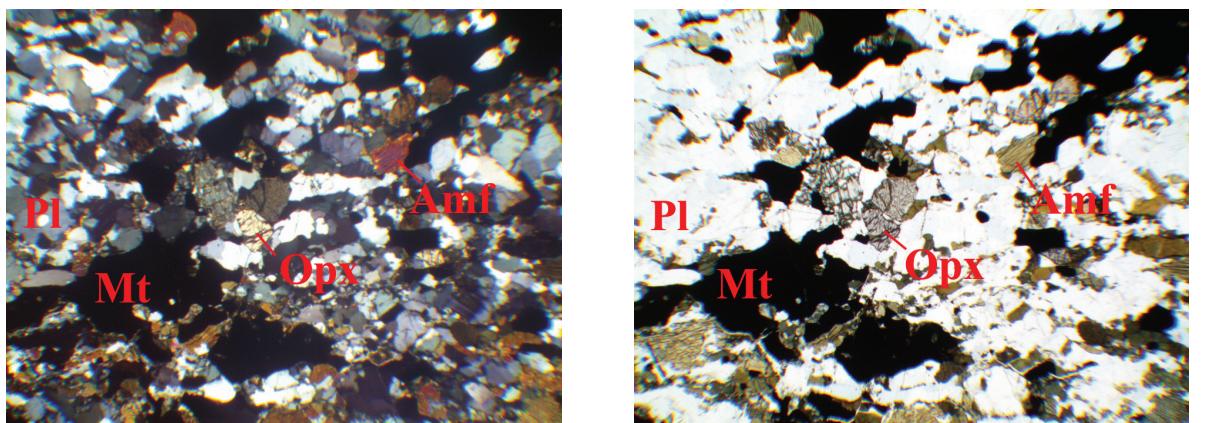
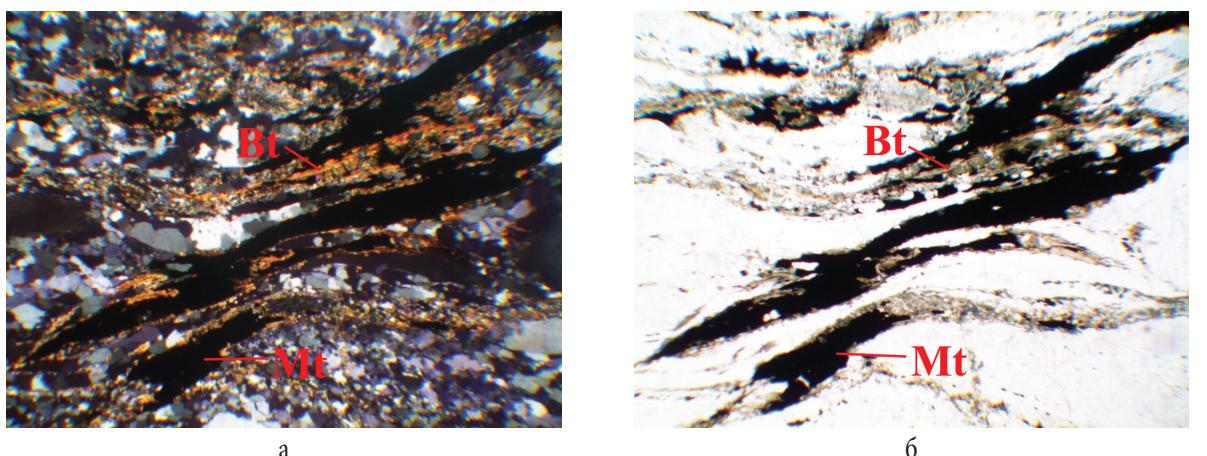


Рисунок 6 – Плагиогнейс пироксен-амфиболовый окварцованный с магнетитом, скв. М 144, гл. 170,0



а б
Рисунок 7 – Бластомилонит с магнетитом, скв. М 143, гл. 208,0 м

Рассматриваемые метасоматические образования участка «Ельня» относятся к породам основного, среднего и кислого состава (табл. 1), нормально- и умереннощелочного ряда, тип щелочности – натриевый, в плагиогнейсах и чарнокитах – калиевый. Породы характеризуются значительной вариабельностью содержания петрогенных компонентов, даже в пределах одного типа пород, что связано с разной степенью проявления гидротермальных преобразований в тектонически ослабленных зонах. Так, среди кристаллических сланцев выделяются разновидности как с умеренной ($t' = 6-9$), так и с высокой титанистостью ($t' = 11-16$), содержание оксида кремния варьирует от 43 до 49 %, магния – от 4,8 до 8,5 %, натрия – от 2 до 4 %, калия – от 0,4 до 1,5 %. Та же картина наблюдается и в измененных амфиболитах, плагиогнейсах, эндербитах. Петрохимически метасоматические преобразования в породах проявились в увеличении содержания оксидов кремния, титана, железа, в некоторых случаях кальция, щелочей, с преобладанием калия, в снижении концентрации оксидов магния и алюминия.

Для микроэлементного состава метасоматически измененных пород также характерна вари-

абельность содержания малых элементов. В целом в таких образованиях наблюдается увеличение siderофильных (хрома, кобальта, иногда ванадия и скандия) и халькофильных (меди, свинца, цинка и олова) элементов по сравнению с неизмененными породами.

Результаты геохимических исследований показали, что в метасоматитах минерализованных зон отмечается значительно высокое содержание халькофильных элементов: Pb – 280 г/т (выше кларковых значений по [1] в 18 раз), Zn – 740 г/т (выше кларка в 10 раз), Cu – 290 г/т (выше кларка в 8 раз), Ag – 1 г/т (выше кларка почти в 15 раз); некоторых siderофильных: Cr – 320–400 г/т (выше кларка в 6–8 раз), Co – 70–160 г/т (выше кларка в 7–16 раз) и Mo – 3–8 г/т (выше кларка в 3–9 раз), а также редкоземельных элементов (РЗЭ) – Sc, Nd, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, содержания которых превышают кларковые значения иногда в несколько десятков раз (табл. 2, 3). Максимальное содержание Co и халькофильных элементов фиксируется в метасоматически измененных амфиболитах и кристаллических сланцах, вскрытых скв. М 144.

Таблица 1 – Химический состав (мас. %) метасоматически измененных пород рудопроявления «Ельня»

Оксид	Кристаллические сланцы						Амфиболиты						Плагиогнейсы						Эндербиты	Манглеро-эндербиты	Чарнокит	Бластомилонит
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18				
SiO ₂	42,84	46,47	46,64	47,29	48,77	49,21	43,85	48,22	55,72	68,79	69,34	70,41	70,46	74,40	40,75	45,58	55,42	58,19	69,02	65,55		
TiO ₂	2,25	2,92	1,99	1,06	1,31	0,72	1,70	1,65	0,55	0,55	0,20	0,18	0,47	1,43	0,80	0,71	0,41	0,26	1,14			
Al ₂ O ₃	12,45	12,40	13,64	13,20	12,27	13,05	13,26	14,09	10,16	14,69	14,83	15,12	15,07	12,07	12,63	13,46	13,91	14,50	9,68	14,30		
Fe ₂ O ₃	8,84	9,42	9,60	5,90	9,35	6,56	10,28	8,39	5,96	1,70	1,22	0,83	0,81	1,47	13,72	7,04	4,65	4,25	0,75	2,14		
FeO	11,38	9,49	9,05	10,32	7,96	8,07	7,65	7,11	6,80	2,47	2,70	1,94	1,88	8,36	9,03	7,17	3,25	6,90	4,02			
MnO	0,23	0,25	0,16	0,07	0,21	0,22	0,25	0,15	0,22	0,01	0,01	0,05	0,08	0,01	0,24	0,27	0,22	0,02	0,12	0,08		
MgO	8,47	5,01	4,71	7,35	4,90	5,17	7,31	7,30	0,65	1,40	1,59	0,60	0,99	1,21	6,21	11,50	4,37	3,92	6,51	2,20		
CaO	4,69	7,71	7,92	9,43	3,93	8,29	6,53	6,77	13,43	1,69	1,95	2,35	2,35	1,30	4,58	4,30	5,19	7,91	1,30	3,50		
Na ₂ O	3,07	4,22	2,63	2,12	3,59	3,99	3,83	0,92	3,22	3,55	4,00	3,65	3,63	3,02	3,15	3,05	4,83	3,72	1,33	4,01		
K ₂ O	0,95	0,84	0,72	0,37	1,50	1,07	0,71	1,13	0,68	3,87	2,90	3,94	3,80	2,62	1,46	1,07	0,87	0,82	2,60	1,60		
P ₂ O ₅	0,23	0,31	0,34	0,16	0,19	0,17	0,20	0,29	0,13	0,12	0,12	0,18	0,18	0,08	0,34	0,10	0,21	0,06	0,05	0,35		
SO ₃	–	–	0,05	0,42	0,30	0,05	0,08	0,16	–	0,06	0,04	–	–	0,03	0,15	0,04	0,03	1,00	0,33	–		
П.п.п	4,56	1,01	1,60	1,34	5,99	2,80	5,32	3,78	1,38	1,09	0,74	0,74	0,72	0,55	1,48	6,98	3,77	2,42	1,95	1,15	1,09	
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
Фобш	0,71	0,79	0,80	0,69	0,78	0,74	0,71	0,68	0,95	0,75	0,71	0,82	0,74	0,74	0,78	0,59	0,73	0,66	0,54	0,74		
t'	11,11	15,45	15,89	12,25	6,10	8,92	4,03	10,97	12,93	13,19	14,03	7,22	6,69	14,03	6,48	5,01	6,02	5,49	3,41	18,48		
a ^l	0,43	0,52	0,58	0,56	0,55	0,66	0,53	0,62	0,76	2,64	2,69	4,48	4,10	2,65	0,45	0,49	0,86	1,27	0,68	1,71		
mg#	0,29	0,21	0,20	0,31	0,22	0,26	0,29	0,32	0,05	0,25	0,29	0,18	0,26	0,22	0,41	0,27	0,34	0,46	0,26			
FeO*/MgO	2,28	3,75	2,13	3,34	2,70	2,31	2,01	18,71	2,86	2,39	4,48	2,64	2,65	3,33	1,34	2,60	1,81	1,16	2,71			
Na ₂ O+K ₂ O	4,02	5,05	3,35	2,49	5,10	5,06	4,54	2,05	3,90	7,42	6,90	7,58	7,44	5,64	4,61	4,11	5,70	4,54	3,93	5,61		
Na ₂ O/K ₂ O	3,24	5,04	3,64	5,73	2,39	3,71	5,37	0,81	4,74	0,92	1,38	0,93	0,96	1,15	2,16	2,86	5,54	4,51	0,51	2,51		
n	4	1	1	6	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	3	1	1	1		

Примечание. Метасоматически измененные: 1–6 – кристаллические сланцы; 1 – скв. М 144–185,0–190,0 м; 2–3 – скв. М 144–186,0 м; 4 – скв. М 144–236,6 м; 5 – скв. М 144–270,0 м; 6 – скв. М 144–165,2–170,0 м; 7–9 – амфиболиты; 7 – скв. М 144–195,0 м; 8 – скв. М 141–259,0 м; 9 – скв. М 143–299,0 м; 10–14 – эндербиты: 10 – скв. М 141–253,7 м; 11 – скв. М 141–325,5 м; 12–13 – скв. М 141–307,0 м; 14 – скв. М 141–266,0 м; 15–16 – эндербиты: 15 – скв. М 144–209,3 м; 16 – скв. М 144–214,0 м; 17–18 – мангоноэнердбиты: 17 – скв. М 144–214,0–215,2 м; 18 – скв. М 145–193,7 м; 19 – чарнокит, скв. М 142–277,9 м; 20 – бластомилонит, скв. М 143–210,3 м. Анализы взяты из [4]. $F_{\text{общ}} = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO}) / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, мас. % – общая железистость пород; $\text{mg}^{\#} = \text{MgO} / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO})$, мас. % – титанистость пород; $\text{FeO}^* = \text{FeO} / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$, мас. % – коэффициент глиноземистости пород; $\text{FeO}^* = \text{FeO} / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$, мас. % – коэффициент магнезимальности пород; $\text{FeO}^* = \text{FeO} / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO} + \text{MgO})$, мас. % – содержание CO₂; прочерк – содержание элемента не определилось или данные отсутствуют.

Таблиця 2 – Кларки концентрацій (Кк) микроелементів в метасоматитах минералізованих зон участка «Ельня» (на основі приближенно-кількісного спектрального аналізу)

Елемент	1	2	3	4	5
Ti	0,84	0,83	0,65	0,73	0,51
V	2,36	2,33	1,34	0,91	0,73
Cr	1,99	4,57	1,70	1,62	0,80
Ni	1,52	2,02	1,01	0,96	0,79
Co	6,80	6,27	3,79	3,98	2,57
Cu	7,69	4,29	5,94	8,25	4,75
Pb	18,41	1,01	12,01	1,04	9,54
Zn	9,51	2,16	10,30	4,05	4,59
Ag	14,69	1,90	8,68	3,33	9,29
Mo	2,83	1,50	2,92	2,42	1,71
Sn	3,54	4,10	3,08	3,15	2,53
Ga	1,13	1,23	1,00	1,10	1,82
Sr	0,23	0,29	0,29	0,30	0,42
Ba	0,58	0,37	0,79	0,62	1,66
Be	8,92	0,71	0,84	1,00	15,51
Zr	0,73	0,73	0,75	1,81	1,16
Nb	0,73	0,46	0,75	0,78	1,32
Ge	1,40	1,17	2,00	1,33	1,33
P	0,78	1,13	0,67	0,56	0,71
Th	–	2,86	4,29	–	–
Sc	3,30	4,17	2,91	2,95	1,63
Y	1,08	3,22	1,74	1,94	0,64
La	0,93	1,74	1,90	0,86	0,69
Ce	1,48	4,12	1,60	1,23	2,06
Nd	–	9,09	3,03	3,03	4,55
Gd	2,27	13,07	2,84	5,68	3,41
Dy	1,59	6,88	6,88	15,87	1,22
Ho	5,56	12,96	13,89	11,11	–
Er	2,86	14,29	5,71	14,29	2,86
Tm	–	16,67	33,33	33,33	–
Yb	1,09	2,72	1,75	1,86	0,92
n	41	15	24	12	38

Примечание. 1–5 – метасоматически измененные породы: 1 – кристаллические сланцы (скв. M 142, 144, 145); 2 – амфиболиты (скв. M 141, 142, 143, 144, 145); 3 – гнейсы (скв. M 141, 142, 144); 4 – чарнокиты и энддербиты (скв. M 142, 144, 145); 5 – бластомилониты (скв. M 141, 142, 143, 144). Пропуск (здесь и далее) – элемент не определялся или ниже границы чувствительности метода. Кк – кларк концентрации – отношение среднего содержания элемента в породе к кларку этого элемента в земной коре. Кларки концентраций всех элементов рассчитаны в сравнении с кларками соответствующего состава пород по А. П. Виноградову [1]. Цветовые обозначения: Кк < 0,6; Кк = 0,6–1,0; Кк = 1,0–2,0; Кк = 2,00–5,00; Кк = 5,0–10,00; Кк > 10,00.

Таблица 3 – Кларки концентраций (Кк) микроэлементов в метасоматитах минерализованных зон участка «Ельня» (на основе метода ICP-MS)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7
V	0,9	3,1	2,1	2,6	3,3	0,1	2,7
Cr	2,1	2,2	2,0	2,6	6,3	3,1	8,0
Ni	0,7	0,4	2,3	0,2	1,3	0,1	1,0
Co	5,1	5,5	16,3	1,9	3,9	0,2	3,8
Cu	9,3	3,3	7,8	0,8	1,8	0,2	1,7
Zn	5,3	3,7	4,4	4,6	1,3	0,5	1,2
Ag	9,3	5,6	10,4	3,7	2,6	4,3	3,1
Mo	1,6	1,6	9,4	0,7	0,7	0,9	0,9
Ga	1,2	1,3	0,8	1,2	0,9	0,7	0,8
Sr	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Ba	0,4	0,5	0,3	2,4	0,2	2,5	0,2
Be	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Zr	0,9	0,4	0,5	0,4	0,2	1,8	0,3
Nb	0,8	0,7	0,5	0,6	0,2	0,5	0,1
Li	0,3	0,3	0,2	0,5	0,2	0,3	0,2
W	1,5	1,3	1,4	0,6	2,0	1,8	2,4
Th	0,3	0,3	0,6	0,0	0,1	1,7	0,1
Hf	1,8	0,9	1,1	0,7	0,5	3,8	0,5
Cd	6,3	4,4	4,7	3,9	3,2	7,2	3,5
U	0,7	0,6	1,5	0,2	0,3	0,9	1,1
Ce	0,7	1,4	1,8	0,5	0,2	1,2	0,3
La	0,7	1,1	1,6	0,6	0,2	1,1	0,2
Pr	0,8	1,9	2,4	0,6	0,3	1,4	0,4
Nd	0,7	1,8	2,3	0,5	0,4	1,3	0,4
Sm	0,5	1,6	1,7	0,3	0,3	0,9	0,4
Eu	1,4	2,1	1,5	1,0	0,9	1,9	0,7
Gd	0,5	1,5	1,8	0,3	0,4	0,7	0,4
Tb	0,6	1,8	2,0	0,4	0,5	0,6	0,5
Dy	0,9	2,3	2,5	0,5	0,6	0,8	0,7
Ho	0,8	1,7	1,8	0,4	0,4	0,6	0,5
Er	1,4	2,7	2,8	0,7	0,8	1,0	0,8
Tm	2,7	4,1	4,7	1,2	1,2	1,7	1,2
Yb	1,9	2,4	2,9	0,8	0,8	1,2	0,8
Lu	0,9	1,0	1,1	0,4	0,3	0,5	0,3

Примечание. 1–7 – метасоматически измененные породы: 1 – амфиболит с сульфидами (скв. М 144–164,0 м); 2–3 – кристаллический сланец с сульфидами; 2 – скв. М 144–166,0 м; 3 – скв. М 144–167,0 м; 4 – плагиогнейс с сульфидами (скв. М 144–168,5 м); 5 – кристаллический сланец (скв. ОП 10–272,8 м); 6 – плагиогнейс с сульфидами (скв. ОП 10–349,5 м); 7 – кристаллический сланец (скв. ОП 11–232,8 м). Анализы выполнены во ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург, 2022 г.), аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов, Pb не определялся.

Минералогический анализ и микрозондовые аналитические исследования метасоматических пород позволили выявить следующие рудные и акцессорные минералы: магнетит, титаномагнетит, ильменит, гематит, сульфиды (пирит, пирротин, халькопирит, молибденит, антимонит, галенит, сфalerит, арсенопирит, марказит), монацит, апатит, перовскит, хризоколлу, циркон (рис. 8–10).

Химический состав окисно-рудных минералов – ильменита и магнетита (табл. 4) характеризуется незначительным содержанием примесей ванадия, марганца, хрома, магния, суммарное количество которых не превышает 3 %.

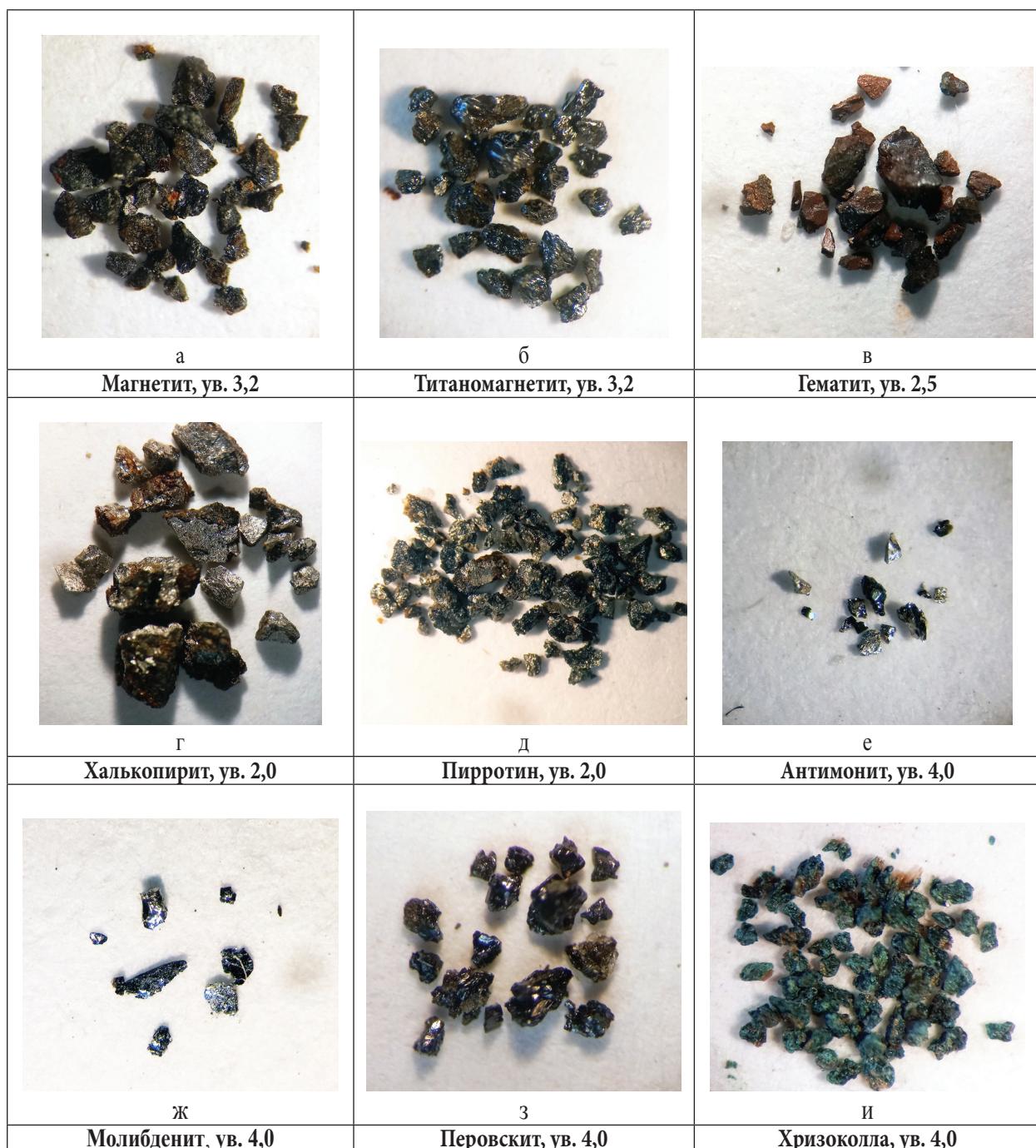


Рисунок 8 – Фото рудных минералов

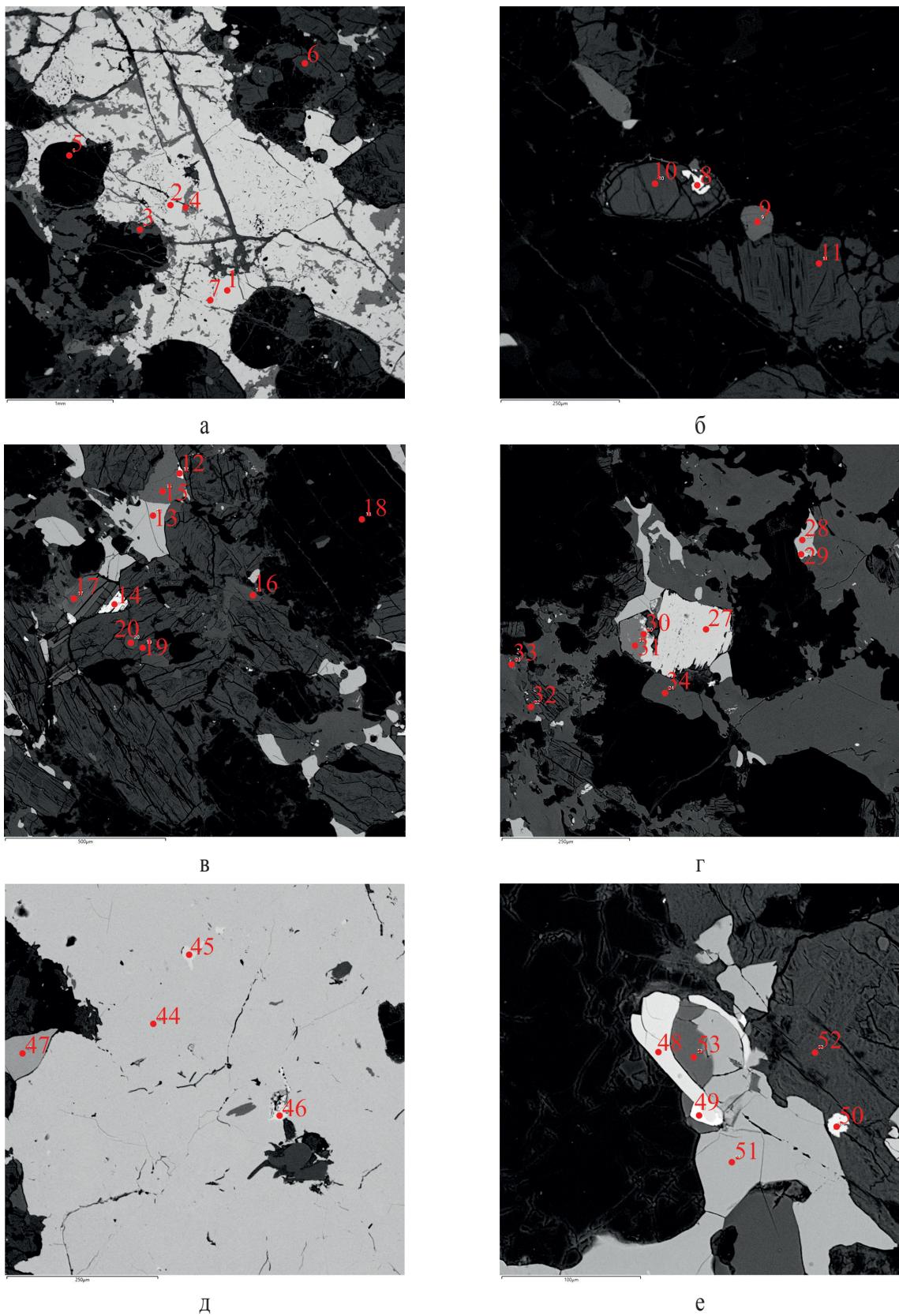


Рисунок 9 – Фото аншлифа метасоматически измененного кристаллического сланца, скв. М 144–166,0 м:
спектры: 1, 2, 27, 44 – пирит; 4 – карбонат; 10, 34, 52 – хлорит; 8, 14, 19, 30, 50 – сфалерит; 20 – амфибол;
12, 32, 33, 49 – монацит; 7, 45, 46 – халькопирит; 13, 28, 47, 51 – ильменит; 29 – магнетит;
9, 15, 53 – апатит; 48 – циркон

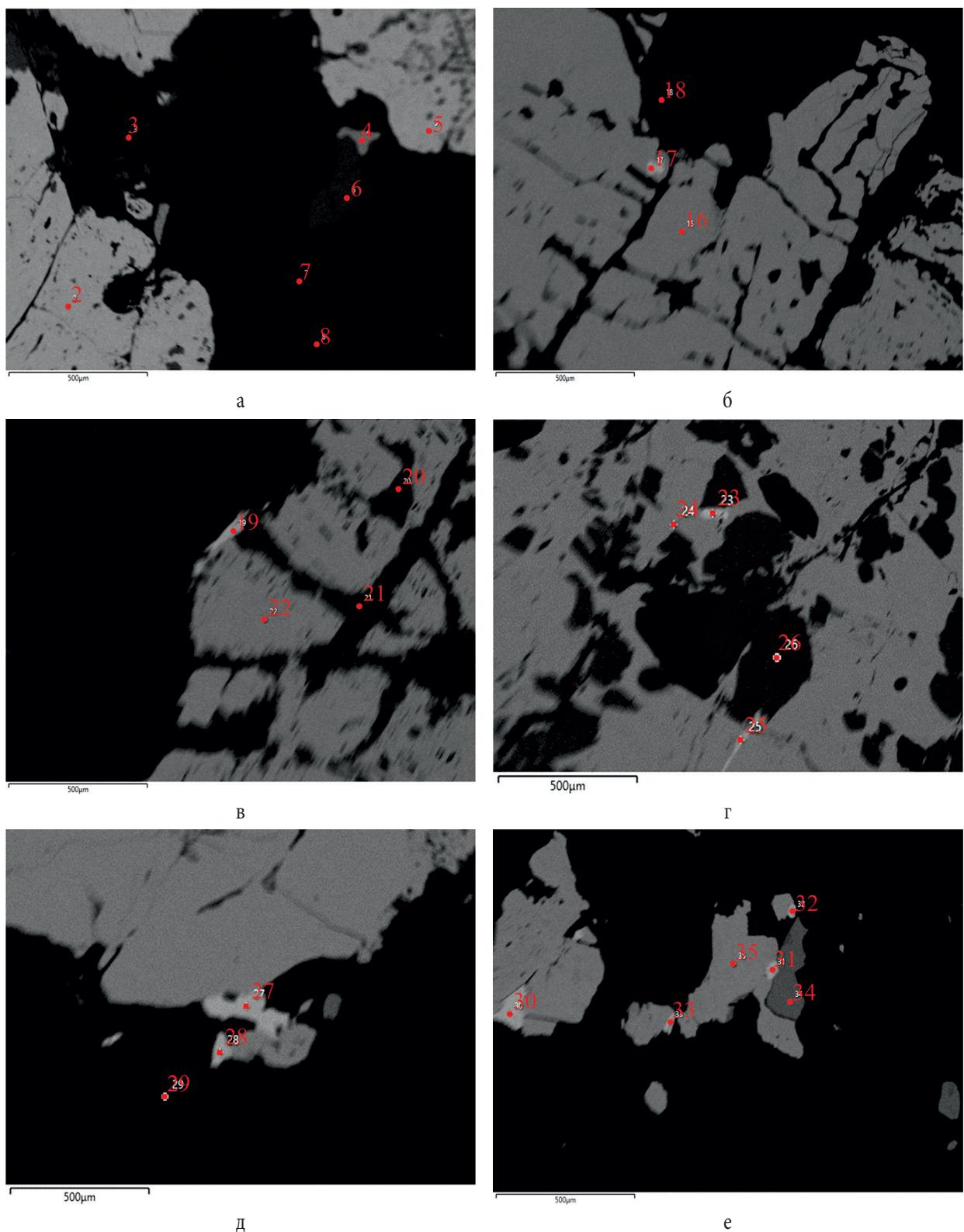


Рисунок 10 – Фото аншлифа метасоматически измененного кристаллического сланца, скв. М 144–167,0 м:
спектры: 17, 23 – сфалерит; 19, 24, 25, 27, 28, 30, 31, 32, 33 – халькопирит; 26 – гетит; 29 – амфибол;
4, 34 – ильменит; 2, 5, 16, 22, 35 – пирит; 6 – апатит

В химическом составе сульфидных минералов – пирита (табл. 5), халькопирита и сфалерита (табл. 6) отмечается наличие таких примесей, как никеля (до 0,7 %), кобальта (до 0,7 %) и мышьяка (до 0,2 %) – в пирите; железа (до 4 %) и кадмия (до 0,2 %) – в сфалерите.

Химический состав акцессорных минералов – апатита, монацита и циркона представлен в табли-

це 7. В цирконе присутствует примесь гафния (0,9 %), железа (0,24 %), а также наблюдается единичная примесь алюминия (0,1 %). Химический состав апатита соответствует фторапатиту [3] с содержанием фтора 1,1–4,1 %. В монаците, кроме основных элементов – редких земель и фосфора, содержится примесь алюминия (0,33 %), кальция (0,22 %) и неодима (3,9 %).

Таблица 4 – Химический состав (мас. %) ильменита и магнетита

Элемент	Ильменит				M 144–166,0 м
	M 144–166,0 м			M 144–167,0 м	M 144–166,0 м
	№ спектра				
	13	28	47	4	29
Ti	30,30	36,49	31,45	30,40	0,36
Fe	36,80	30,29	37,32	35,60	73,43
V	0,34	0,21	–	–	0,51
O	31,39	–	31,91	31,90	23,53
Mn	1,17	0,54	0,36	0,90	–
Mg	–	0,46	0,17	0,60	0,39
Al	–	0,16	–	0,20	0,52
Cr	–	–	–	–	0,26
Si	–	0,11	–	0,40	0,83
Ca	–	0,11	–	–	0,17
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Примечание. Здесь и далее анализы выполнены методом электронно-зондового микроанализа в лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Аналитик О. А. Яковлева.

Таблица 5 – Химический состав (мас. %) пирита

Элемент	M 144–166,0 м			M 144–167,0 м						
	№ спектра			1	27	44	2	5	16	22
S	23,89	53,55	53,42	54,30	54,40	54,60	54,40	54,40	54,40	54,40
Fe	23,18	45,88	46,30	45,20	45,10	44,40	45,30	44,40	45,30	45,30
Co	0,65	0,29	0,20	–	–	0,10	–	–	–	–
Ni	0,04	0,11	0,07	0,50	0,40	0,70	0,70	0,70	0,30	0,30
O	49,24	–	–	–	–	–	–	–	–	–
As	–	0,17	–	–	0,10	0,20	0,20	0,20	–	–
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 6 – Химический состав (мас. %) халькопирита и сфалерита

Элемент	Халькопирит			Сфалерит					
	M 144–166,0 м		M 144–167,0 м	M 144–166,0 м		M 144–167,0 м			
	№ спектра			7	46	19	8	14	17
S	35,55	35,15	37,40	32,86	33,10	37,40	36,40	36,40	36,40
Fe	30,83	30,74	30,50	2,80	3,20	–	3,80	3,80	3,80
Cu	33,62	34,12	32,10	–	–	–	–	–	–
Zn	–	–	–	64,12	63,70	59,79	–	–	–
Cd	–	–	–	0,21	0,01	–	–	–	–
Сумма	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 7 – Химический состав (мас. %) акцессорных минералов

Элемент	Апатит			Монацит	Циркон
	M 144–166,0 м		M 144–167,0 м	M 144–166,0 м	M 144–166,0 м
	№ спектра				
	9	15	6	12	48
Ca	37,04	38,58	37,9	0,22	–
O	39,09	39,08	38,4	27,79	34,62
P	17,34	18,34	18,1	13,35	–
F	1,12	–	4,1	–	–
Cl	2,87	1,33	1,5	–	–
Fe	0,89	–	–	–	0,24
Al	0,33	–	–	0,33	0,1
Mg	0,46	–	–	–	–
Si	0,85	–	–	0,16	14,87
Zr	–	–	–	–	34,62
Hf	–	–	–	–	0,98
La	–	–	–	28,38	–
Ce	–	–	–	25,89	–
Nd	–	–	–	3,88	–
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Исходя из текстурно-структурных особенностей рудных минералов и их взаимоотношения между собой можно выделить три генерации: 1-я генерация представлена существенно магнетитом, ильменитом, реже пиритом и пирротином; 2-я генерация – преимущественно сульфидная – пиритом, пирротином и примесью марказита; 3-я наиболее поздняя генерация представлена галенитом, сфалеритом с примесью халькопирита, арсенопирита и марказита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метасоматические породы участка «Ельня» характеризуются обогащенностью халькофильными, некоторыми сидерофильными, благороднометальными и редкоземельными элементами. Выявлены довольно высокие концентрации *Cr, Co, Pb, Zn, Cu, Ag, Mo*, превышающие кларковые значения по [1] в 8–18 раз, а *Tm* и *Cd* в 4–7 раз. Также отмечается повышенное содержание некоторых редкоземельных элементов (*Pr, Nd, Eu, Gd, Dy, Ho, Yb, Er*), превышающее величину кларка в 2–3 раза.

По своему типу проявление «Ельня» металлогенически специализировано на цветные и редкие металлы: свинец, цинк, медь, молибден, серебро, кобальт, кадмий и редкоземельные элементы: в большей степени тундрий, а также иттербий, неодим, erbий, диспрозий. Повышенные содержания серебра и кадмия являются типичными для рудопроявлений данного типа. Серебро довольно часто является примесью в минералах свинца (чаще в галените), а основная масса кадмия сосредоточена в минералах цинка, чаще всего в сфалерите.

Метасоматиты участка «Ельня» относятся к классу гидротермально-метасоматических с ведущей ролью проявления инфильтрационного и сопутствующего диффузионного метасоматоза. По характеру замещения исходных пород и в зависимости от геологической позиции рудопроявления «Ельня» тип метасоматоза определяется как контактовый, возникающий на контакте магматического тела (интрузии мостовского комплекса) и вмещающих пород. Преобразование сопровождается локальным перемещением петрогенных элементов с образованием существенных концентраций рудного вещества в составе рудных жил и метасоматических зон. Рудные интервалы на данном участке вскрыты на глубинах 165–340 м и представлены зонами прожилково-вкрашенной, гнездово-вкрашенной рудной минерализации.

Полученные результаты минералого-геохимического исследования метасоматитов позволили сделать вывод, что проявление «Ельня» относится к комплексному сульфидно-полиметаллическому рудопроявлению жильного типа. Подобные образования представляют собой класс среднетемпературных образований, формирование которых происходит при температурах 250–450 °C [2]. В результате остывания циркулирующих горячих минерализованных растворов происходит отложение минералов в ослабленных трещиноватых зонах. Источник флюида для образований такого типа минерализации часто связан с кислым и средним магматизмом. В случае с рудопроявлением «Ельня» вероятным источником флюида могли служить останавливающие интрузии мостовского гранитоидного

комплекса, слагающие два крупных массива (Мостокский и Выгодский) вблизи изучаемого участка.

Руды данного типа характеризуются многообразием текстурно-структурных признаков, видов рудных минералов, значительным диапазоном колебаний размеров рудного вкрапления и отличаются от других формационных типов более легкой обогатимостью полезного компонента. В результате переработки таких руд есть возможность получать кондиционные медный, свинцовый и цинковый концентраты, а также сопутствующие серебро и редкий кадмий. В комплексных свинцово-цинковых рудах, содержащих примеси серебра, кадмия и других элементов, количество свинца и цинка (в сумме) должно быть не ниже 3 %, причем свинца не менее 1 %. На участке «Ельня» в некоторых пробах фиксируется суммарное содержание свинца и цинка от 0,8 до 1 %, из которых 0,6–0,7 % при-

ходится на цинк и 0,2–0,3 % на свинец. Наибольший интерес представляет тело, верхняя часть которого пробурена скважиной М 144, вскрывшей породы с богатой вкрапленностью сульфидов. Протяженность тела по простирианию составляет около 400 м при ориентировочной мощности около 30 м.

Можно сказать, что участок «Ельня», где породы фундамента залегают на небольшой глубине, является интересным и потенциальным объектом для поиска и обнаружения значительной концентрации полезных ископаемых. Приведенные выше данные свидетельствуют о перспективности данного рудо-проявления и необходимости дальнейшего детального его изучения.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (подпрограмма 10.4 «Белорусские недра»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Виноградов, А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
- 2. Коржинский, Д. С.** Избранные труды. Основы метасотатизма и метамагматизма / Д. С. Коржинский. – М. : Наука, 1993. – 239 с.
- 3. Породообразующие минералы. Т. 5. Несиликатные минералы / У. А. Дир [и др.]. – М. : Мир, 1966. – 408 с.**
- 4. Химические** анализы горных пород кристаллического фундамента Белоруссии. Справочник / А. М. Пап [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1988. – 243 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 14.09.2023

Рэцензент А. Г. Лапцэвіч

МІНЕРАЛАГА-ГЕАХІМІЧНЫЯ АСАБЛІВАСЦІ МЕТАСАМАТЫТАЎ КРЫШТАЛІЧНАГА ФУНДАМЕНТУ ЗАХАДУ БЕЛАРУСІ (УЧАСТАК «ЕЛЬНЯ»)

А. А. Талкачыкова, А. А. Піскун, М. П. Гурыновіч, Н. С. Завадзіч, А. І. Крывалап

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ по геалогіі»

Філіял «Інстытут геалогіі»

вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь

E-mail: gmkf@geologiya.by, piskun_oleg@mail.ru, fundament@geologiya.by

Прадстаўлены вынікі даследвання малавывучаных метасаматычных парод участка «Ельня», размешчанага на заходзе крышталічнага фундаменту Беларусі. Выяўлены асаблівасці іх хімізму і заканамернасці размеркавання малых элементаў. Вызначаны ўмовы пераўтварэння зыходных парод. Зроблена выснова, што змененія пароды дадзенага участка ставяцца да класа гідратэрмальна-метасаматычных з вядучай роллю прайавы інфільтрацыйнага і спадарожнага дыфузійнага метасаматозу. Устаноўлена, што метасаматыты з'яўляюцца патэнцыйна руданоснымі на каліяровыя і рэдкія металы. Прайавленне «Ельня» належыць да комплекснага сульфідна-поліметалічнага рудапрайавлення жыльнага тыпу.

Ключавыя слова: крышталічны фундамент, участак «Ельня», метасаматыты, геахімія, рудапрайавленне.

POTENTIAL ORE CONTAINMENT OF EARLY PROTEROZOIC GRANITOIDS OF THE CRYSTALINE BASEMENT OF THE WEST OF BELARUS

A. Tolkachikova, A. Piskun, M. Hurynovich, N. Zavadich, A. Kryvalap

State Enterprise “Research and Production Center for Geology”

Branch “Institute of Geology”

7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus

E-mail: gmkf@geologiya.by, piskun_oleg@mail.ru, fundament@geologiya.by

The findings of the understudied metasomatic rocks investigation in the “Yelnya” site, located in the western part of the crystalline basement of Belarus, are presented. The peculiarities of their chemistry and the distribution of small elements patterns have been revealed. The conditions of the original rocks transformation have been determined. It is concluded that the altered rocks of this area belong to the class of hydrothermal-metasomatic rocks with the leading role of infiltration and accompanying diffusion metasomatism. It was found that metasomatites are potentially ore-bearing for non-ferrous and rare metals. The Yelnya occurrence belongs to a complex sulfide-polymetallic ore occurrence of the vein type.

Keywords: crystalline basement, “Yelnya” site, metasomatites, geochemistry, ore occurrence.

УДК 553.078(476)

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РУДАНОСНОСТЬ РАННЕПРАТЕРОЗОЙСКИХ ГРАНИТОІДОў КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ЗАПАДА БЕЛАРУСІ

О. А. Пискун

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»

Филиал «Институт геологии»

ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

E-mail: piškun_oleg@mail.ru

Дана геохимическая характеристика и определена металлогеническая специализация раннепротерозойских гранитоидов запада Беларуси. Установлено, что породы являются потенциально рудоносными на медь, молибден и ряд редкоземельных элементов. В качестве наиболее перспективного объекта на выявление промышленно значимых проявлений рудных полезных ископаемых рассматривается Берштовский массив мостовского комплекса.

Ключевые слова: раннедокембрийские гранитоиды, мостовский и гродненский комплексы, геохимия, перспективы рудоносности.

ВВЕДЕНИЕ

В докембрийском кристаллическом фундаменте запада Беларуси в настоящее время выделяется два раннепротерозойских гранитоидных комплекса: мостовский и гродненский. Образования мостовского комплекса слагают массивы Мостовский, Выгодский, Куренецкий и Берштовский и еще несколько более мелких интрузий в пределах Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса, а гранитоиды гродненского комплекса формируют несколько массивов в юго-восточной части Восточно-Литовской зоны и западной части Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса (рис. 1). Вмещающими породами для гранитоидов служат сланцы и плагиогнейсы щучинской серии, амфиболиты и амфибол-биотитовые гнейсы озерской толщи, эндербит-чарнокиты, высокотемпературные бластомилониты, мигматиты осмоловского комплекса.

Возраст гранитов мостовского комплекса определен как 1330–1380 млн лет уран-торий-свинцовым методом по породе [11] и 1550–1650 млн лет кинетическим Pb-Pb методом по цирконам (по данным Ю. А. Деревянкина, 1991). Близкими по структурному положению, составу и возрасту к рассматривающим гранитоидам являются развитые на юге Литвы образования вейсеяйского комплекса [15], слагающие массивы Гердасай (Gerdasai), Капкимистис (Kapsiamiestis) и примыкающий к Берштовскому массиву Кабеляй (Kabeliai). Для гранитов последнего получен возраст $1505 + 11$ млн лет U-Pb методом по циркону и 1980–2040 млн лет Sm-Nd методом по породе [16]. Определения возраста пород гродненского комплекса отсутствуют.

Оценка перспектив рудоносности раннепротерозойских гранитоидов запада Беларуси рассматривалась и ранее [2; 3; 4; 5; 10], однако внимание большинства авторов было в основном уделено Мостовскому и Выгодскому массивам мостовского комплекса. Работы последних лет основывались на детальном изучении вещественного состава гранитов гродненского и мостовского комплексов с применением более современных методов исследований, что позволило выявить ряд геохимических особенностей пород и более широко взглянуть на металлогенический потенциал данного региона.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для изучения послужили образцы горных пород из керна скважин, пробуренных в предыдущие годы исследований, за период с 1968 по 1999 г. Для выявления геохимических особенностей пород использовались аналитические данные 45 полных силикатных анализов, 147 спектрально-количественных анализов, выполненных в лабораториях ПО «Центрказгеология», г. Караганда; Центральная лаборатория РУП «Белгеология»; Институт минералогии и геохимии редких элементов, г. Москва. Также были использованы результаты масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой (ICP-MS), полученные в лаборатории ВСЕГЕИ (13 анализов) (г. Санкт-Петербург, 2019–2023) и в лаборатории БелГИМ (17 анализов, г. Минск, 2019–2020). Содержание благородных металлов определено пробирно-спектральным методом в лаборатории АО «Тульское НИГП» (г. Тула, 2005).

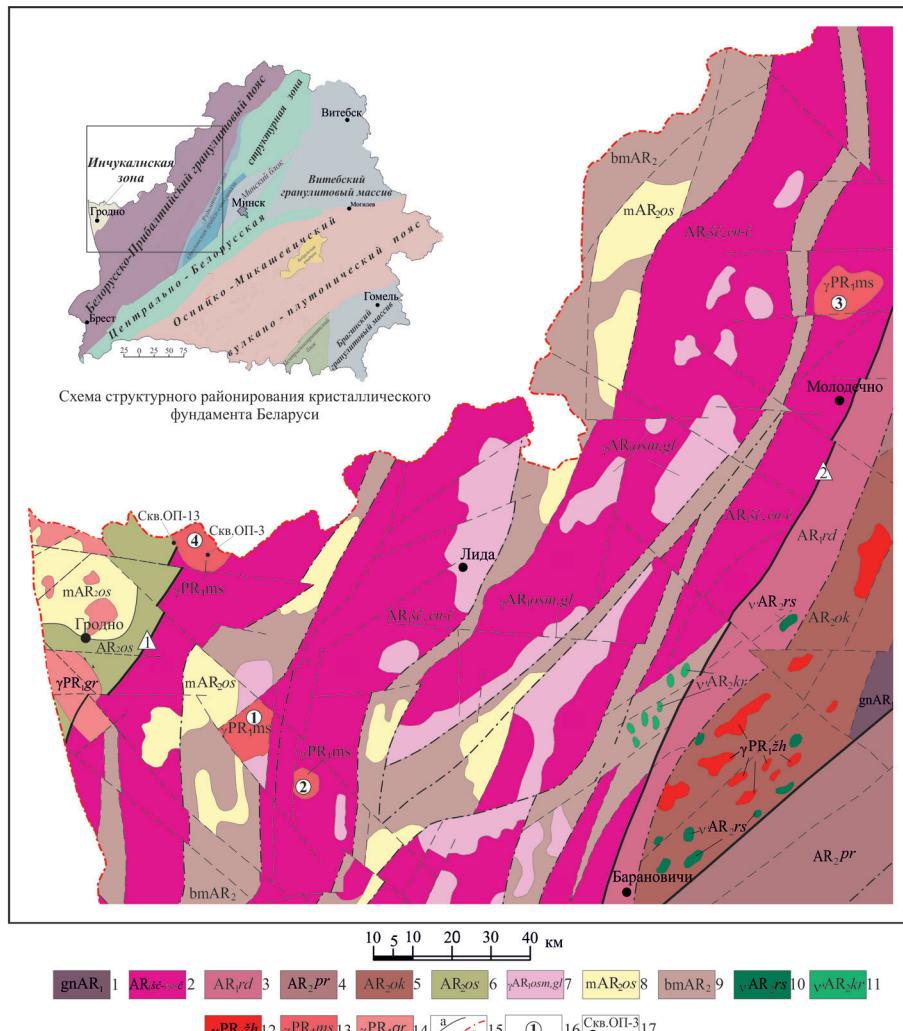


Рисунок 1 – Фрагмент геологической карты кристаллического фундамента запада Беларуси [1] с дополнениями:
 1 – гранулит-гнейсовый комплекс нерасчлененный; 2 – щучинская серия, основные кристаллические сланцы, плагиогнейсы и эндербит-чарнокитовый комплекс; 3 – рудьмянская толща, гнейсы гранат-биотитовые, кристаллические сланцы, кальцифиры; 4 – перетокская толща, плагиогнейсы, амфибол-биотитовые гнейсы; 5 – околовская серия, микроплагиогнейсы амфиболовые, биотитовые; 6 – озерская толща, амфиболиты, амфибол-биотитовые гнейсы; 7 – голеновский и осмоловский комплексы, граниты ортоклазовые; 8 – осмоловский комплекс мигматиты; 9 – комплекс высокотемпературных бластомилонитов; 10 – русиновский комплекс, метагаббро; 11 – кореличский комплекс, метагаббро, метагаббронориты; 12 – жуховичский комплекс, граниты микроклин-плагиоклазовые; 13 – мостовский комплекс; 14 – гродненский комплекс; 15 – разрывные нарушения: *a* – суперрегиональные; *b* – региональные; *v* – локальные, цифрами показаны разломы: 1 – Белостокский; 2 – Кореличский; 16 – цифрами в кружках показана массивы мостовского комплекса: 1 – Мостовский; 2 – Выгодский; 3 – Куринецкий; 4 – Берштовский

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ГРАНИТОИДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РУДНОСТНОСТИ

Согласно проведенным нами ранее исследованиям [8; 9; 12] граниты мостовского и гродненского комплексов проявляют значительное сходство. Помимо близкого структурно-тектонического положения, они характеризуются близким набором разностей пород и сопоставимыми минералогопетрографическими и геохимическими характери-

ристиками. Породы представляют собой среднекрупнозернистые, крупнозернистые, участками порфировидные образования с гипидиоморфнозернистой, гранитовой, иногда монцонитовой структурой и массивной, изредка, в зонах тектонических нарушений, гнейсовидной текстурой. В их составе преобладают биотитовые плагиоклаз-микроклиновые граниты, в меньшем объеме присутствуют кварцевые монцодиориты, граносиениты и лейкограниты, сложенные в разных количественных соотношениях калиевым полевым шпатом

(в основном решетчатый микроклин), плагиоклазом, кварцем и биотитом. Также в породах присутствуют магнетит, ильменит, сульфиды, сфен, рутил, ортит, монацит, циркон, апатит, флюорит, топаз, мусковит, серицит, хлорит, эпидот и карбонаты. В отдельных разностях кварцевых монцодиоритов содержание сфена и магнетита может достигать 2–4 весовых или объемных %. По данным [10], содержание в породах магнетита может достигать 28 кг/т, ильменита до 30 г/т, гематита до 1 кг/т, сфена до 16 кг/т, пирита до 10 кг/т, монацита до 370 г/т, циркона до 800 г/т, апатита до 8,7 кг/т, флюорита до 3,7 кг/т. Среди рудных минералов доминирует магнетит, содержание которого варьирует от 2,7 до 10,3 % объема пробы.

По содержанию SiO_2 гранитоиды соответствуют магматическим породам среднего и кислого состава (61–73 %) (рис. 2). Характеризуются железистостью,

от умеренной до повышенной ($F_{\text{общ}} = 0,7$ –0,9), глиноzemистостью ($a' = 1,4$ –9,1) и титанистостью ($t' = 7$ –18); окисное железо преобладает над закисным. Породы относятся к образованиям известково-щелочной серии умеренно-щелочного и щелочного ряда, тип щелочности – калиевый. В гранитоидах с возрастанием SiO_2 и K_2O отмечается убывание TiO_2 , MgO , Fe_2O_3 и CaO . Главной петрохимической чертой рассматриваемых пород является их повышенная щелочность с преобладанием калия над натрием.

В гранитоидах установлены повышенные содержания ряда халькофильных (Cu, Mo, Ag), лиофильных (Ti, Cr, Ba, Be, Zr, Nb, W, Hf, Th, U) и редкоземельных легких (La, Ce, Nd, Pr) и тяжелых (Ho, Er, Tm), иногда некоторых сидерофильных (Ni, Co) элементов (рис. 3). Отмечается неравномерность в распределении этих элементов в породах.

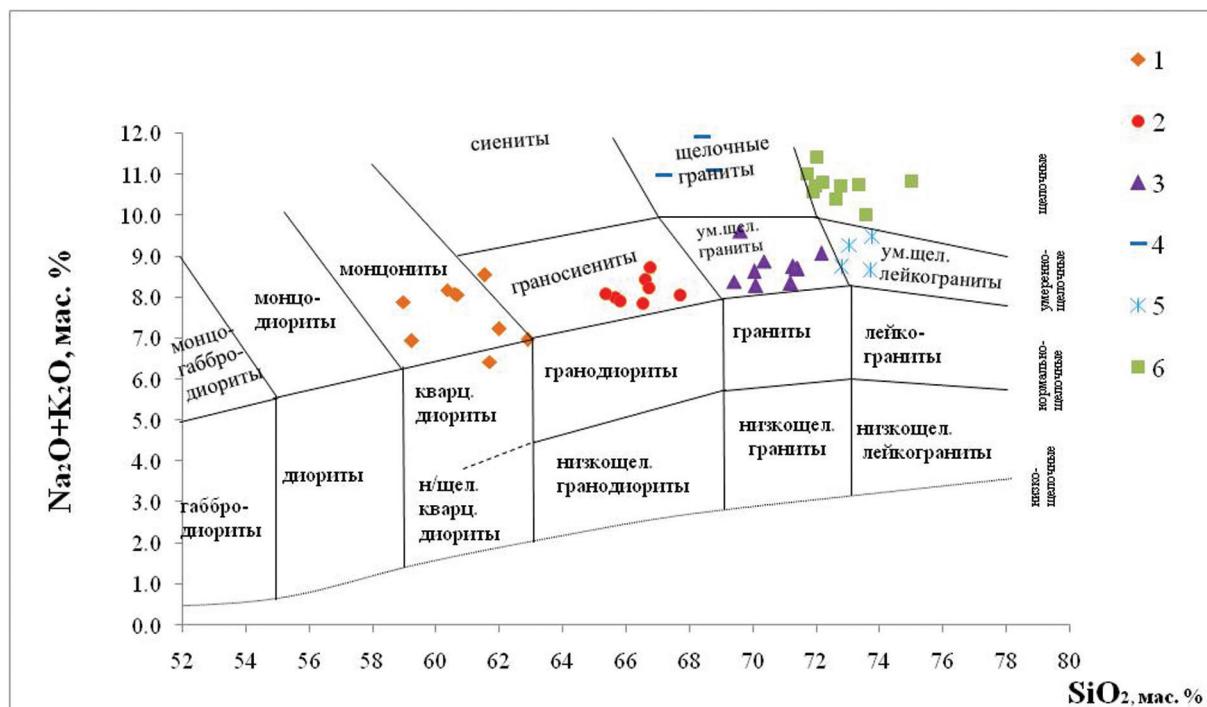


Рисунок 2 – Классификационная (TAS) диаграмма [14], гранитоиды запада Беларуси:
1 – кварцевые монцодиориты; 2 – граносиениты; 3 – граниты биотитовые умеренно-щелочные;
4 – граниты биотитовые щелочные; 5 – лейкограниты умеренно-щелочные; 6 – лейкограниты щелочные

Условные обозначения см. на рисунке 2. Кк – кларк концентрации – отношение среднего содержания элемента в породе к кларку этого элемента в земной коре по [6]. Черными линиями показана область ($\text{Kk} = 0,75$ –1,5) со значениями, близкими к кларку.

В кварцевых монцодиоритах наблюдается значительное превышение содержания большинства редкоземельных элементов (РЗЭ) (рис. 3, № 1), так концентрация лантана, церия и неодима выше

в 7–10 раз величины кларка пород соответствующего состава по [6]. Содержание серебра в 5 раз выше кларка, а меди, свинца, олова и некоторых лиофильных (Ba, Be, Zr, Ta, Th, U) элементов от 2 до 7 выше кларковых значений. Остальные элементы фиксируются на уровне фона. В граносиенитах отмечается слегка повышенные концентрации Ag, Be, Zr (в 2–3 раза выше кларка), а La, Ce, Th и Hf (до 5–6 кларковых значений) (рис. 3, № 2). Содержание большинства микроэлементов в биотитовых умеренно-щелочных гранитах близко кларко-

вым значениям (рис. 3, № 3). При этом они слегка обогащены сидерофильными (Ni, Co) и некоторыми халькофильными (Cu) элементами. Также в них, как и в других разностях пород, наблюдаются высокие концентрации серебра, тория, гафния и РЗЭ. *Биотитовые щелочные граниты* отличаются чуть большим содержанием Ni, Co и Cu и ряда РЗЭ (рис. 3, № 4). *Лейкограниты умеренно-щелочные и щелоч-*

ные

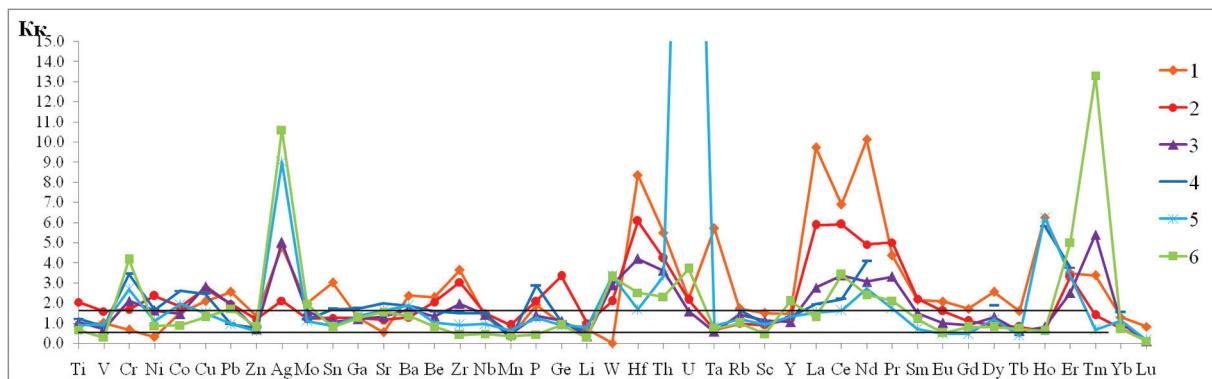
 характеризуются близким микроэлементным составом, где отмечается высокое содержание Cr, Co, Cu, Sr, Ce, Th, W и РЗЭ (рис. 3, № 5, 6). Только в щелочных лейкогранитах фиксируется аномально высокое содержание Ag (выше кларка в 11 раз) и в умеренно-щелочных лейкогранитах – U (в 45 раз выше кларка).


Рисунок 3 – Графики распределения микроэлементов в гранитоидах

В некоторых пробах были выявлены аномальные концентрации (в г/т): Cu – 200–500, Pb – 80–150, Zn – 100, Mo – 20, Sn – 20–30, Zr – 1000–2000, Nb – 100, Th – 100, Hf – 50, Ce – 2000, La – 1500, Rb – 350. Также фиксировалось высокое содержание фосфора (выше кларка в 3–6 раз), связанное с постоянным присутствием в породах апатита, и фтора (величина кларка колеблется от 2 до 11), главным носителем которого является биотит [3].

В целом гранитоиды характеризуются положительной геохимической специализацией на халькофильные, литофильные и редкоземельные элементы и относятся к редкометальным гранитам агпайтового типа [13].

Как было установлено [3], содержание некоторых элементов-примесей в калиевом полевом шпате составляет (в г/т): Ga – 60–80, Ba – 2000–5000, Sr – 100–300, Cu – 5–8, Pb – 20–40, Li – 2–26, Rb – 650–710, Cs – 3–4, Be – 4; биотите: V – 100–200, Cr – 100, Ni – 60, Co – 40–50, Zn – 200, Cu – 95, Sn – 60; мусковите: V – 500, Sc – 50, Sn – 10, Ga – 100; магнетите: V – 100–200, Cr – 20–960, Co – 15, Cu – 30, Zn – 300–600, Mo – 3–6, Pb – 8–30. Также была выявлена повышенная концентрация Mo в калиевом полевом шпате (до 30 г/т) и кварце (до 28 г/т), что предполагает наличие мелких включений молибденита в этих минералах [5].

Наиболее перспективным объектом с точки зрения обнаружения месторождений полезных ископаемых выделяется Берштовский массив, расположенный на крайнем севере Гродненской области. Он является южным окончанием крупного массива Кабеляй (Литва), в пределах которого ранее было уста-

новлено медно-молибденовое рудопроявление Марцинконис с содержаниями меди до 40 000–80 000 г/т, молибдена – 100–9500 г/т, серебра до 10 г/т, цинка – 300 г/т, свинца – 1000 г/т (по данным Н. А. Корнилова и др., 1983).

Общие поисковые работы в районе Берштовского массива выполнялись в период с 1996 по 2007 г. РУП «Белгеология», результатом которых стало обнаружение минерализованных рудных зон и выделение двух перспективных участков: «Бершты» и «Поречье». Скважинами ОП-3, ОП-4, ОП-5, ОП-6 (участок «Бершты») был вскрыт непосредственно массив гранитоидов, а скв. ОП-13 (участок «Поречье») была пробурена в зоне экзоконтакта массива с вмещающими породами.

Минерализованные зоны Берштовского массива отличаются большим разнообразием минералов: магнетит, титаномагнетит, ильменит, гематит, халькопирит, пирит, пирротин, молибденит, вольфрамит, арсенопирит, халькозин, ковеллин, борнит, галенит, флюорит, топаз, антаз, апатит, монацит, циркон, сфен, ортит, эпидот.

Полученные нами новые данные позволили выявить высокие концентрации многих рудных элементов: титана (до 10 500 г/т), ванадия (до 180 г/т), никеля (до 30 г/т), кобальта (до 60 г/т), бериллия (до 10 г/т), хрома (350 г/т), меди (8700 г/т), молибдена (50 г/т), серебра (до 1 г/т) и некоторых редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Tm). Кларки концентрации (Кк) меди и молибдена иногда достигают 435 и 55 соответственно; для серебра Кк = 7–21 (табл. 1).

Таблица 1 – Кларки концентраций содержаний микроэлементов в гранитоидах Берштовского массива и вмещающих их породах щучинской серии

Участок Порода/ Элемент	Бершты		Поречье			
	Гранит Bt	Гранит Bt	Гнейс Bt	Гранит Bt	Гранит Bt	Гнейс Amf-Bt
	ОП 3–393 м	ОП 3–405 м	ОП 13–279 м	ОП 13–289 м	ОП 13–296 м	ОП 13–429 м
Ti	1.3	0.2	3.9	3.6	3.5	4.6
V	1.2	0.1	2.4	4.5	1.1	2.8
Cr	9.7	8.7	7.3	7.0	9.8	5.4
Ni	3.6	2.7	3.4	2.9	3.1	2.6
Co	2.1	0.5	4.7	4.6	4.9	11.7
Cu	45.9	6.0	17.5	109.0	203.5	435.5
Zn	0.3	0.2	1.8	1.6	0.9	2.2
Mo	1.3	1.4	19.3	5.8	55.5	50.3
Ag	0.2	0.2	0.8	3.4	7.0	20.6
Cd	1.1	1.4	1.4	1.6	2.1	1.8
Ga	1.4	0.8	1.4	1.5	1.2	2.2
Sr	0.6	0.6	0.8	1.1	0.9	0.5
Ba	0.3	0.9	0.2	0.2	1.6	0.9
Be	2.4	0.7	3.2	2.9	1.5	3.2
Zr	0.1	0.1	0.5	0.6	1.4	1.2
Nb	0.8	0.1	3.6	1.2	1.0	1.0
Yb	1.4	0.1	0.5	0.6	0.8	0.8
La	0.4	0.3	0.8	1.3	1.9	0.3
Ce	0.2	0.1	0.7	0.7	1.6	1.3
W	0.2	0.4	0.2	1.9	2.0	1.2
Pr	0.6	0.2	0.3	1.3	5.5	6.0
Nd	0.8	0.2	0.3	1.3	4.3	4.8
Sm	1.1	0.2	0.4	1.5	4.1	4.8
Eu	1.0	0.1	0.4	1.1	2.8	3.3
Gd	1.0	0.1	0.4	0.6	1.3	1.4
Tb	0.7	0.5	0.4	0.6	1.3	0.9
Dy	1.1	0.1	0.3	0.5	1.1	1.1
Ho	1.4	0.1	0.3	0.5	0.8	0.8
Er	1.9	0.1	0.4	0.5	0.8	0.9
Tm	1.5	0.1	0.4	0.4	0.6	0.7
Lu	1.9	0.1	0.5	0.6	0.8	0.9
Hf	3.2	0.3	1.0	1.1	1.5	1.6
Th	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1

Примечание. Метод ICP-MS, аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург), Кк – кларк концентрации – отношение среднего содержания элемента в породе к кларку этого элемента в земной коре [6]; цветовые обозначения: Кк < 0,20; Кк = 0,21–0,70; Кк = 0,71–1,50; Кк = 1,51–2,00; Кк = 2,01–2,50; Кк = 2,51–5,00; Кк = 5,01–10,00; Кк > 10,00.

В отдельных пробах пород было установлено довольно высокое (на уровне промышленного [7]) содержание (г/т): меди – до 10 000, молибдена – до 500, а также – титана – до 10 000, ванадия – 850–1200, хрома – 3000, никеля – 300, кобальта – 200, свинца – 300, серебра – до 1, церия – 2000, германия – 200, стронция – 1500–3500, бария – 9000–10 000, лантана – 700–1500, иттрия – 150–300, урана – 300. Также было выявлено наличие золота в количестве 0,1 г/т. По результатам анализов в пиритах, выделенных из гранитов скв. ОП-4, ОП-5 и ОП-6, определены содержания золота от 0,4 до 5,0 г/т и серебра от 1,7 до 6,4 г/т; в халькопирите по одному определению содержание золота составило 1,32 г/т.

Минеральные ассоциации рудных зон и повышенные содержания малых элементов в гранитоидных породах указывают на их принадлежность к молибден-меднопорфировой рудной формации, возможно с благородными металлами (Ag и Au). Также не исключено наличие рудопроявлений гидротермального типа, что требует дальнейшего изучения. Прямые признаки рудоносности – наличие минерализованных рудных зон, высокие концентрации элементов-примесей в пределах Берштовского массива – подтверждают выделение перспективных участков «Бершты» и «Поречье».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Породы комплексов содержат повышенные концентрации халькофильных, литофильных и редкозе-

мельных (Cu, Mo, Ba, Be, Zr, Nb, W, Th, Hf, La, U, Ti, Cr, La, Ce, Nd, Pr, Ho, Er, Tm) элементов, фтора и фосфора, в меньшей степени – сидерофильных (Ni, Co) элементов. С учетом анализа концентрации малых элементов и их соотношения гранитоиды характеризуются халькофильно-литофильно-редкоземельной геохимической специализацией и соответствуют геохимическому типу редкометальных гранитоидов агпайтового ряда, которые обычно характеризуются высокой потенциальной рудоносностью на Mo, Sn, W, Pb и Zn.

Повышенные концентрации многих элементов в породах сопряжены со значимыми содержаниями таких минералов, как магнетит, титаномагнетит, ильменит, халькопирит, пирит, арсенопирит, молибденит, ковеллин, халькозин, вольфрамит, галенит, флюорит, топаз, анатаз, апатит, монацит, циркон, сфен, ортит, эпидот.

Гранитоиды являются потенциально рудоносными на медь и молибден и близки по своим характеристикам к медно-молибденовой формации, а также могут быть перспективными на проявление редкоземельных и благородных металлов (Ag, Au).

Наиболее пристальное внимание следует уделить поисковым работам в пределах Берштовского массива, учитывая прямые признаки его рудоносности (наличие положительных геохимических аномалий и зон рудной минерализации, а также установленное медно-молибденовое проявление на сопредельной территории Литвы). Здесь возможно обнаружение рудопроявлений меди, молибдена, редкоземельных элементов, серебра и золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Аксаментова, Н. В.** Геологическая карта кристаллического фундамента Белоруссии и прилегающих территорий. Масштаб 1:1 000 000 : объяснительная записка / Н. В. Аксаментова, И. В. Найденков. – Киев, 1992. – 66 с.
- 2. Архипова, А. А.** Гранитоиды раннего докембрия Беларуси: геодинамическая позиция и металлогенез. Ст. 1. Гранитоиды Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса / А. А. Архипова, И. В. Найденков // Літасфера. – 2001. – № 1 (14). – С. 82–91.
- 3. Булкин, Ю. С.** Новые данные о потенциальной рудоносности гранитоидов северо-западной Беларуси / Ю. С. Булкин // Доклады АН Беларуси. – 1995. – Т. 39, № 6. – С. 101–104.
- 4. Булкин, Ю. С.** Металлогеническая специализация гранитоидов Мостовского и Выгодского массивов Беларуси / Ю. С. Булкин, А. С. Махнач // Доклады АН Беларуси. – 1996. – Т. 40, № 3. – С. 94–97.
- 5. Булкин, Ю. С.** Раннедокембрйские гранитоиды Белорусской антиклизы (состав, классификация, происхождение) / Ю. С. Булкин. – Минск : Институт геологии, геохимии и геофизики АН Беларуси, 1993. – 138 с.
- 6. Виноградов, А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
- 7. Вольфсон, Ф. И.** Главнейшие типы рудных месторождений / Ф. И. Вольфсон, А. В. Дружинин. – М., 1975. – 392 с.
- 8. К вопросу** о потенциальной рудоносности гранитоидов мостовского комплекса северо-запада Беларуси / М. П. Гуринович [и др.] // Літасфера. – 2020. – № 2 (53). – С. 141–149.
- 9. Минералого-геохимические особенности** гранитоидов мостовского комплекса кристаллического фундамента северо-запада Беларуси / О. А. Пискун [и др.] // Літасфера. – 2020. – № 2 (53). – С. 87–103.

10. О геохимической и металлогенической специализации пород кристаллического фундамента Щучинской тектонической зоны / М. И. Автушко [и др.] // Материалы республиканского совещания по проблеме «Геология и металлоносность кристаллического фундамента Белоруссии». – Минск : БелНИГРИ, 1978. – С. 77–86.
11. Пап, А. М. Нижний докембрий Беларуси / А. М. Пап. – Минск : Навука і тэхніка, 1996. – 212 с.
12. Пискун, О. А. К вопросу о выделении гродненского комплекса в кристаллическом фундаменте Беларуси / О. А. Пискун, А. А. Толкачикова, М. П. Гуринович, // Літасфера. – 2021. – № 2 (55). – С. 31–40.
13. Таусон, Л. В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов / Л. В. Таусон. – М. : Наука, 1977. – 280 с.
14. Шарпенок, Л. Н. TAS-диаграмма сумма щелочей – кремнезем для химической классификации и диагностики плутонических пород / Л. Н. Шарпенок, А. Е. Костин, Е. А. Кухаренко // Региональная геология и металлогения. – 2013. – № 56. – С. 40–50.
15. Skridlaite, G. Ferro-potassic A-type and related rocks in NE Poland and S Lithuania: west of the East European Craton / G. Skridlaite, J. Wiszniewska, J.-C. Duchesne // Precambrian Research. – 2003. – Vol. 124. – P. 305–326.
16. Skridlaite, G. Precambrian domains in Lithuania: evidence of terrane tectonics / G. Skridlaite, G. Motuza // Tectonophysics. – 2001. – Vol. 339. – P. 113–133.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 15.09.2023

Рэцэнзент А. Ф. Кузьмянкова

ПАТЭНЦЫЙНАЯ РУДАНОСНАСЦЬ РАННЕПРАТЭРАЗОЙСКИХ ГРАНІТОІДАЎ КРЫШТАЛІЧНАГА ФУНДАМЕНТУ ЗАХАДУ БЕЛАРУСІ

А. А. Піскун

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ по геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: piskun_oleg@mail.ru

Дадзена падрабязная геахімічна характеристыка і вызначана металлагенічна спецыялізацыя раннепратэрразойскіх гранітоідаў заходу Беларусі. Устаноўлена, што пароды комплексу з'яўляюцца патэнцыйна руданоснымі на медзь, малібдэн і шэраг рэдказямельных элементаў. У якасці найбольш перспектывнага аб'екта на выяўленне прымысловав значных праяў рудных карысных выкапняў разглядаецца Берштоўскі масіў мастоўскага комплексу.

Ключавыя слова: крышталічны фундамент, раннедакембрыйская гранітоіды, мастоўскі і гродненскі комплексы, геахімія, перспектывы руданоснасці.

POTENTIAL ORE CONTAINMENT OF EARLY PROTEROZOIC GRANITOIDS OF THE CRYSTALINE BASEMENT OF THE WEST OF BELARUS

A. Piskun

State Enterprise “Research and Production Center for Geology”
Branch “Institute for Geology”
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: piskun_oleg@mail.ru

Detailed geochemical characteristic is given and metallogenetic specialization of the Early Proterozoic granitoids of western Belarus is determined. It has been established that the rocks are potentially ore-bearing for copper, molybdenum and a number of rare earth elements. The Bershtovsky massif of the Mostovsky complex is considered as the most promising object for identifying industrially significant occurrences of ore minerals.

Keywords: crystalline basement, Early Precambrian granitoids, Mostovsky and grodno complexes, geochemistry, ore prospects.

УДК 551.464.6.02;551.734.2;551.734.3(476)

ИЗОТОПЫ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ОТЛОЖЕНИЯХ ПОГРАНИЧНЫХ ГОРИЗОНТОВ НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ДЕВОНА БЕЛАРУСИ

А. А. Махнач¹, Б. Г. Покровский², О. В. Мурашко¹

¹Государственное предприятие «НПЦ по геологии»

Филиал «Институт геологии»

ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

E-mail: amahnach1951@gmail.com

²Геологический институт РАН

Пыжевский пер., 7, 119017, Москва, Россия

E-mail: pokrov@ginras.ru

Выполнено изотопно-geoхимическое изучение карбонатсодержащих отложений витебского (верхний эмс) и адревского (нижний эйфель) горизонтов Беларуси в разрезах скважин Северо-Полоцкая (юго-восток Латвийской седловины), Быховская (зона сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины), Кормянская (Жлобинская седловина), Приволье (Северо-Припятское плечо Припятского прогиба) и ГГК-1 (юго-западный край Воронежской антеклизы).

В отложениях витебского и адревского горизонтов Северо-Полоцкого, Быховского и Кормянского разрезов преобладают значения $\delta^{13}\text{C}$, близкие величинам, свойственным для морских седиментационных карбонатов, и значения $\delta^{18}\text{O}$, присущие карбонатам эмсского и эйфельского веков. Однако имеются изотопные сигналы усиления роли вод суши при обмелении бассейна (отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$), эвапоритизации (увеличение значений $\delta^{18}\text{O}$) и периодического изменения температуры морской воды, связанного с колебаниями глубины бассейна (разнонаправленные сдвиги $\delta^{18}\text{O}$).

Синхронные отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ трассируют интервалы разрезов, испытавших воздействие инфильтрационного катагенеза в обольских слоях витебского горизонта и адревском горизонте скв. ГГК-1, а также в лепельских слоях витебского горизонта скв. Кормянская.

Необычное сочетание нормально-морских $\delta^{13}\text{C}$ и крайне низких $\delta^{18}\text{O}$ в нижних частях витебского и адревского горизонтов разреза Приволье, расположенного в ареале самой высокой в Беларуси плотности теплового потока и на крыле палеовулкана, предположительно связано с катагенетическим новообразованием карбонатов в среде захороненных морских вод или рассолов, не испытавших существенного влияния инфильтрации, в условиях повышенных (или высоких) температур.

Ключевые слова: Беларусь, витебский горизонт (верхний эмс), адревский горизонт (нижний эйфель), карбонатсодержащие отложения, изотопы углерода, изотопы кислорода.

ВВЕДЕНИЕ

В 2019–2023 гг. нами были выполнены изотопно-хемостратиграфические исследования карбонатных и карбонатсодержащих нижне-среднедевонских отложений в отдельно взятых разрезах пяти скважин на территории Беларуси (рис. 1) [2; 3; 11; 12; 14; 15], а также сопоставлены изотопные данные по этим разрезам для образований освейского горизонта нижнего эйфеля [17] и городокского горизонта среднего эйфеля [16]. В настоящей статье приводятся результаты сопоставления изотопного состава углерода и кислорода в отложениях пограничных стратиграфических подразделений нижнего и среднего девона, представленных в Беларуси витебским (верхний эмс) и адревским (нижний эйфель) горизонтами. Первый из них коррелируется с нижней частью ряжского горизонта Центрального

девонского поля и резекненским горизонтом Главного девонского поля, второй – с верхней частью ряжского горизонта и пярнуским горизонтом этих регионов соответственно [1; 7; 8; 21].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Скважины, каменный материал которых использован в работе, выстраиваются в профиль с северо-запада на юго-восток Беларуси (см. рис. 1). Это параметрические скважины Северо-Полоцкая (на юго-востоке Латвийской седловины), Быховская (в зоне сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины), Кормянская (на Жлобинской седловине), Приволье (на Северо-Припятском плече Припятского прогиба) и картировочная скважина ГГК-1 (в Клинцовском грабене на юго-западном краю Воронежской антеклизы).

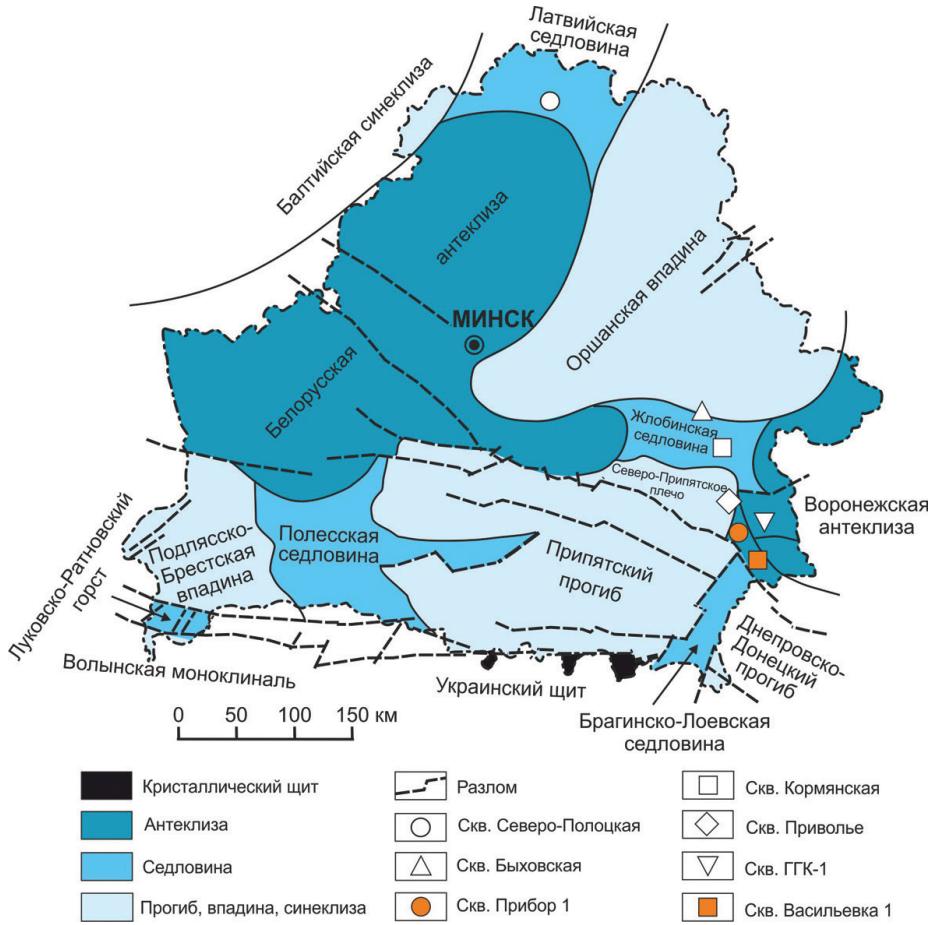


Рисунок 1 – Расположение скважин, материалы по которым использованы в работе, на схеме тектонического районирования территории Беларуси [4]

Литостратиграфическое расчленение этих разрезов выполнено А. Г. Лапцевич, О. Ф. Кузьменковой, Г. Д. Стрельцовой и Н. С. Яковлевой (Институт геологии, Минск) в соответствии со стратиграфической схемой девонских отложений Беларуси [21]. Ими же при полевом описании керна скважин была собрана коллекция образцов, из которых 126 проб карбонатных и карбонатсодержащих пород витебского и адревского горизонтов было использовано нами в работе.

Разрешение построенных кривых вариаций изотопного состава углерода и кислорода в витебском и адревском горизонтах, определяемое метражом разреза, охарактеризованным одним образцом, оказалось следующим: скв. Северо-Полоцкая – 0,8 и 0,4 м соответственно; Быховская – 2,0 и 1,0; Кормянская – 1,2 и 0,4; Приволье – 2,2 и 1,0; скв. ГГК-1 – 1,4 и 1,1 м.

Изотопные определения производились на масс-спектрометре Delta V Advanced с использованием установки Gas-Bench-I в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН (Москва). Их результаты даны относительно следующих стандартов: $\delta^{13}\text{C}$ – PDB, $\delta^{18}\text{O}$ – PDB. Точность (воспроизводимость) измерений находится в пределах $\pm 0,2\text{‰}$. Карбонатность пород газометри-

ческим методом и содержание органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) посредством оксидометрии определялись в Институте геологии (Минск) Г. И. Лучиной.

Авторы благодарны указанным выше коллегам, способствовавшим формированию массива фактических данных, использованных в статье.

ЛИТОЛОГИЯ И СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА

Литологическая информация об изучаемых разрезах дана в таблице 1 и на рисунках 2 и 3.

Витебско-адревская часть разреза скв. Северо-Полоцкая подстилается отложениями томмотского яруса нижнего кембрия, в скв. Быховская, Кормянская и Приволье – образованиями вильчанской серии нижнего венда, а в скв. ГГК-1 – породами кристаллического фундамента. Во всех пяти разрезах витебско-адревские отложения перекрыты образованиями освейского горизонта нижнего эйфеля (дорогобужский горизонт Московской синеклизы, или вадъяский подгоризонт наровского горизонта Литвы) [1; 7; 8; 21].

В разрезе скв. Северо-Полоцкая маломощные витебско-адровские отложения залегают в интервале 327,6–338,7 м. Начинаяющие девонскую часть разреза образования витебского горизонта мощностью 8,7 м представлены бежево-серыми и зелено-вато-серыми доломитовыми мергелями, известковистыми глинистыми и песчанистыми доломитами, доломитистыми глинами, песчаниками с доломитовым цементом. Встречаются гнезда гипса размером до 3–4 см. Адровский горизонт (мощность 2,4 м) сложен, главным образом, светло-серыми массивными песчаными доломитами с гнездами, прослойями и прожилками желтоватого гипса.

В Быховском разрезе витебско-адровская толща (294,1–351,2 м) имеет мощность 57,1 м, из которых 50 м приходится на витебский горизонт. Он сни-

зуется вверх подразделяется на обольские (мощность 15,9 м) и лепельские (34,1 м) слои. Обольские слои сложены преимущественно кварцевыми песчаниками, слоистыми и массивными, со структурой от мелко- до крупнозернистой. Встречаются прослои гравелитов. Цемент пород глинистый и доломитовый, иногда гипсовый. Лепельские слои – это чередование доломитовых мергелей, доломитов, доломитистых глин; отмечаются также песчаники с глинистым и доломитовым цементом. Присутствуют редкие гипсовые включения. Адровский горизонт (7,1 м) представлен преимущественно доломитами с разным содержанием терригенной примеси, в т. ч. строматолитовыми и оолитовыми, гнездами окремненными. Встречаются мергельные прослои.

Таблица 1 – Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов в отложениях витебского (верхний эмс) и адровского (нижний эйфель) горизонтов Беларуси

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{опр} , %	δ ¹³ C, ‰ (PDB)	δ ¹⁸ O, ‰ (PDB)
Скв. Северо-Полоцкая						
Адровский горизонт						
327,7	Доломит песчаный	0	70,6	0,13	-0,8	0,2
328,2	Доломит известковый	27,9	69,5	0,62	-4,8	-3,8
328,5	Доломит песчаный	0	51,1	0,22	-1,2	-1,0
328,7	Мергель доломитовый глинистый опесчаненный	–»–	39,5	0,56	-1,8	-1,8
329,0	Доломит песчаный	3,9	68,8	0,15	-1,3	-0,4
329,6	Мергель доломитовый с алевритом	0	51,6	0,18	-1,6	-1,2
Витебский горизонт						
330,6	Глина доломитистая с выделениями гипса	0	16,1	0,13	-3,4	-5,5
332,4	Глина доломитистая	–»–	13,4	0,36	-2,5	0,5
332,6	Мергель доломитовый глинистый	–»–	41,5	0,27	-2,8	-2,3
332,9	Доломит известковистый глинистый	11,9	78,1	0,21	-3,2	-3,1
333,1	Глина доломитистая	0	16,8	0,69	-2,9	-3,5
334,0	Доломит известковистый опесчаненный выделениями гипса	21,7	78,3	0,23	-2,4	-2,4
335,2	Мергель доломитовый алевритистый	0,6	58,1	0,22	-2,0	-1,2
336,2	Мергель доломитовый глинистый	0	47,2	0,22	-1,5	-1,8
337,1	Мергель известковисто-доломитовый с выделениями гипса	6,3	59,0	0,18	-1,0	-1,8
337,6	Мергель доломитовый алевритистый	0	53,5	0,21	-1,0	-2,5
338,6	Песчаник с доломитовым цементом	–»–	42,5	0,17	-0,9	-3,3
Скв. Быховская						
Адровский горизонт						
294,5	Мергель известково-доломитовый	10,7	42,3	Нет данных	-3,5	-2,7
294,7	Доломит глинистый известковистый	6,3	81,6	0,25	-0,8	-3,9

Продолжение табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C_{opr} , %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)
Скв. Быховская						
Адровский горизонт						
297,0	Доломит известковистый глинистый	13,8	79,7	0,19	-0,7	-2,8
298,0	Мергель доломитовый	4,5	60,2	0,29	-0,7	-3,8
299,0	Мергель доломитовый	4,5	58,5	0,38	-0,8	-4,0
299,9	Глина доломитовая	1,4	12,7	0,32	-1,1	-3,1
301,1	Доломит известковистый глинистый	7,2	86,2	0,34	-1,7	-2,7
Витебский горизонт, лепельские слои						
302,0	Глина доломитистая	0,2	5,9	1,76	-2,8	-2,8
303,3	Мергель глинистый доломитовый	2,3	24,0	0,41	-1,9	-2,4
304,6	Глина доломитистая	3,0	19,6	0,44	-1,8	-3,2
306,9	—»—	0,7	10,2	0,47	-1,7	-4,3
307,3	Мергель доломитовый	2,7	49,7	0,23	-1,7	-4,1
310,1	Мергель глинистый доломитовый	2,0	33,2	0,26	-2,2	-2,7
311,2	Доломит глинистый известковистый	6,8	74,6	0,12	-1,5	-1,4
312,0	Доломит известковистый	10,9	86,6	0,09	-1,7	-1,7
313,0	Мергель доломитовый	4,3	48,2	0,15	-1,7	-0,2
315,0	Доломит известковистый глинистый	10,9	79,7	0,09	-1,4	0,2
317,0	Мергель глинистый доломитовый	3,7	34,0	0,17	-1,8	-1,9
319,6	Мергель доломитовый	5,6	52,4	0,15	-1,7	-2,4
320,6	Глина доломитистая	2,5	14,4	0,18	-2,4	-3,3
323,4	—»—	0,9	5,5	0,94	-2,7	-2,3
324,7	—»—	1,6	10,8	0,66	-2,5	-3,4
326,0	Глина карбонатсодержащая	1,6	2,0	0,71	-5,1	-1,6
327,9	Мергель глинистый известково-доломитовый	5,9	39,9	0,40	-3,9	-3,3
331,5	Доломит известковистый глинистый	14,5	70,2	0,59	-3,4	-1,8
334,5	Глина доломитистая	0,9	14,6	Нет данных	-3,1	-4,9
Витебский горизонт, обольские слои						
335,4	Мергель известково-доломитовый	7,2	45,5	0,14	-2,7	-5,1
335,8	Известково-доломитовая глинистая порода	38,6	47,9	0,29	-4,4	-4,1
340,0	Песчаник с глинистым и доломитовым цементом	1,6	15,9	0,11	-8,7	-1,0
344,0	—»—	0,4	2,8	0,38	-3,4	-5,7
347,0	—»—	6,5	36,5	0,13	-7,7	1,2
349,5	—»—	0,0	2,2	0,12	-4,7	-0,9

Продолжение табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	$C_{\text{opr}}, \%$	$\delta^{13}\text{C}, \text{\textperthousand}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}, \text{\textperthousand}$ (PDB)
Скв. Кормянская						
Адровский горизонт						
311,2	Алевролит с доломитовым цементом	2,5	14,6	1,05	-3,5	-5,1
312,0	Мергель известково-доломитовый	9,1	44,2	0,98	-3,7	-3,2
312,1	Доломит известковистый глинистый с сульфидами	13,6	63,2	0,98	-5,0	-2,5
312,4	Мергель доломитовый	3,0	49,0	0,15	-1,6	-4,1
312,6	Доломит известковистый глинисто-песчанистый оолитовый	5,6	73,5	0,20	-1,3	-5,1
312,7	-»-	5,4	60,7	0,21	-1,2	-5,1
312,8	Доломит известковистый глинистый оолитовый	7,2	79,9	0,16	-1,9	-5,2
313,0	Доломит известковистый оолитовый	15,2	85,2	0,16	-1,8	-5,0
313,5	Доломит	4,7	90,2	0,15	-1,4	-5,6
313,6	Доломит водорослевый кавернозный	4,5	95,5	0,37	-1,9	-5,0
314,5	Глина алевритистая доломитистая	2,5	12,3	0,27	-2,4	-2,9
315,0	Мергель известковисто-доломитовый	7,2	53,9	0,39	-2,1	-3,3
315,5	Доломит известковистый с сульфидами	5,4	94,6	0,20	-2,0	-4,1
316,3	Доломит известковистый	6,8	88,7	0,30	-1,8	-3,2
316,7	Доломит известковистый кавернозный с сульфидами	19,3	80,7	0,17	-1,8	-3,5
Витебский горизонт, лепельские слои						
318,3	Доломит известковистый глинистый онколитовый	13,2	77,6	0,25	-2,1	-1,9
320,3	Мергель глинистый доломитовый	1,1	27,1	0,44	-1,9	-3,1
323,2	Доломит известковистый глинистый	6,8	85,2	0,07	-1,9	-4,5
324,6	Глина доломитистая	1,1	15,6	0,12	-1,8	-4,8
325,2	Доломит известковистый глинистый	9,1	78,2	0,11	-1,9	-3,9
325,8	Доломит	4,0	96,0	0,10	-1,8	-4,4
328,7	Доломит известковистый с кристаллами кальцита в трещине	8,6	89,4	0,12	-5,2	-7,4
328,7	Доломит известковистый	8,7	91,3	0,10	-1,8	-4,1
329,0	Мергель известковисто-доломитовый	13,6	60,5	0,96	-5,2	-2,5
329,2	Доломит известковистый глинистый строматолитовый	7,9	86,0	0,11	-1,7	-4,9

Продолжение табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	$C_{\text{опр}}\ %$	$\delta^{13}\text{C}, \text{‰}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$ (PDB)
Скв. Кормянская						
Витебский горизонт, лепельские слои						
330,0	Мергель доломитовый брекчевидный с водорослевой текстурой	3,7	60,5	0,10	-1,7	-4,1
330,6	Мергель доломитовый с раковинным детритом	3,9	47,3	0,14	-1,6	-4,2
331,6	Алевролит с доломитовым цементом	1,1	23,0	0,18	-1,7	-3,5
331,8	-»-	3,0	21,2	0,22	-1,8	-4,2
332,5	-»-	2,0	23,8	0,21	-1,7	-2,5
333,0	Мергель доломитовый	4,5	63,6	0,17	-1,8	-2,7
334,0	Алевролит доломитсодержащий	3,7	15,0	0,14	-2,2	-3,8
334,8	Алевролит глинистый доломитсодержащий	3,4	25,0	0,13	-2,5	-3,3
335,8	Глина доломитистая	2,0	14,8	0,15	-2,2	-4,5
336,0	Мергель глинистый доломитовый	1,6	28,8	0,14	-2,5	-5,2
336,7	Доломит известковистый	9,2	90,8	0,23	-2,0	-5,5
336,8	Глина доломитовая	0,7	20,8	0,18	-1,6	-4,8
340,1	Мергель доломитовый	4,1	23,8	0,34	-3,1	-3,7
340,8	Доломит известковистый глинистый	11,4	79,3	0,14	-2,2	-5,3
342,8	Мергель известковисто-доломитовый	5,4	60,9	1,19	-2,0	-2,8
344,4	-»-	5,9	60,7	0,67	-2,7	-4,5
347,1	Глина доломитистая	0,4	21,4	0,29	-2,9	-5,5
Витебский горизонт, обольские слои						
348,8	Песчаник с доломитовым цементом	2,7	30,7	0,11	-3,4	-5,9
350,2	-»-	1,8	47,5	0,24	-3,5	-5,5
351,0	-»-	2,0	33,6	0,24	-3,8	-5,9
351,3	Терригенно-карбонатная порода	5,6	55,1	0,21	-3,9	-6,4
Скв. Приволье						
Адровский горизонт						
883,3	Глина доломитистая, переслаивающаяся с ангидритом	0	12,8	0,88	-5,0	-7,1
883,5	Мергель глинистый доломитовый	-»-	33,9	1,08	-4,8	-6,5
884,8	Глина доломитистая	-»-	15,0	4,78	-3,9	-7,2
885,1	Мергель глинистый известковисто-доломитовый	13,4	32,7	2,80	-4,5	-7,0
885,7	Мергель известковисто-доломитовый	9,6	53,1	0,22	-2,5	-6,8
886,5	Песчано-гравелитовая порода с доломитом	0	9,3	0,15	-1,4	-8,4

Окончание табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	$C_{\text{опр}}, \%$	$\delta^{13}\text{C}, \text{\textperthousand}$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}, \text{\textperthousand}$ (PDB)
Скв. Приволье						
Витебский горизонт						
887,1	Мергель глинистый доломитовый	0	29,3	0,97	-5,8	-2,8
888,0	Известковисто-доломитовая порода	15,4	82,6	0,28	-3,2	-4,4
889,7	Мергель глинистый доломитовый	0	39,0	0,93	-0,6	-9,1
890,4	Песчаник доломитовый	-»-	28,0	0,40	-0,4	-9,1
891,9	Глина доломитистая	-»-	18,2	0,89	-1,3	-6,9
892,6	Мергель глинистый доломитовый	-»-	29,2	0,75	-0,5	-9,2
893,5	Песчаник доломитистый	-»-	8,5	0,12	-1,0	-9,4
Скв. ГПК-1						
Адровский горизонт						
430,1	Песчаник с известковым цементом	14,8	3,4	0,07	-6,8	-6,2
432,0	Гравелит с известковым цементом	21,4	4,7	0,07	-6,5	-2,0
433,8	-»-	33,1	2,9	0,09	-7,0	-4,8
435,1	Песчаник с пойкилитовым карбонатным цементом	15,0	4,3	0,06	-6,3	-6,7
435,6	-»-	5,7	4,0	0,21	-6,1	-6,1
Витебский горизонт, лепельские слои						
435,9	Глина доломитистая	0,0	20,5	0,19	-3,7	-2,9
436,6	Мергель доломитовый	11,1	57,9	0,06	-4,8	0,4
436,9	Доломит известковистый	14,0	86,0	0,13	-2,3	0,2
437,4	Доломит известковый	25,5	74,3	0,15	-2,5	-1,8
437,7	Доломит известковистый	17,8	77,3	0,13	-2,5	-1,7
438,4	Доломит известковистый глинистый	14,1	65,6	0,12	-3,3	-0,9
438,7	Доломит известковистый	22,6	74,7	0,08	-3,4	-0,5
439,6	Мергель известковисто-доломитовый	9,0	53,1	0,13	-2,3	-0,9
440,4	Песчаник с известковым цементом	11,8	0,0	0,12	-2,4	2,0
441,0	Доломит известковистый	12,6	84,1	0,12	-4,9	-0,4
Витебский горизонт, обольские слои						
449,9	Мергель глинистый доломитовый	0,3	31,7	0,06	-4,4	0,3
452,1	Песчаник с доломитовым цементом	2,7	40,6	0,07	-4,4	-0,2
452,8	Песчаник с пойкилитовым кальцитовым цементом	25,3	1,9	0,01	-6,6	-8,2
453,2	Песчаник с пойкилитовым карбонатным цементом	11,7	5,0	0,04	-6,3	-7,4

Примечание. $C_{\text{опр}}$ – концентрация органического углерода.

Интервал залегания витебско-адровских отложений в скв. Кормянская – 311,0–351,5 м (мощность 40,5 м). В витебском горизонте (34,5 м) выделены обольские (3,1 м) и лепельские (31,4 м) слои. Первые представлены чередованием серых карбонатсодержащих песчаников и зеленовато-серых аргиллитоподобных глин. Есть прослои пелитоморфных доломитов. Лепельские слои сложены доломитами, обычно известковистыми глинистыми, нередко строматолитовыми, а также комковатыми доломитовыми мергелями и доломитистыми аргиллитоподобными глинами. Имеются прослои алев-

ролитов и песчаников. Цвет пород главным образом серый, местами с зеленоватым или бежевым оттенком. В доломитах иногда отмечаются каверны и трещины, стенки которых инкрустированы хорошо оформленными бесцветными прозрачными кристаллами кальцита. Мощность адровского горизонта в Кормянском разрезе – 6 м. Он слагается преимущественно светло- и желтовато-серыми водорослевыми известковистыми и глинистыми доломитами, иногда с оолитами, прослоями пористыми и кавернозными. Встречаются тонкие прослои песчаников, алевролитов и темно-серых глин.

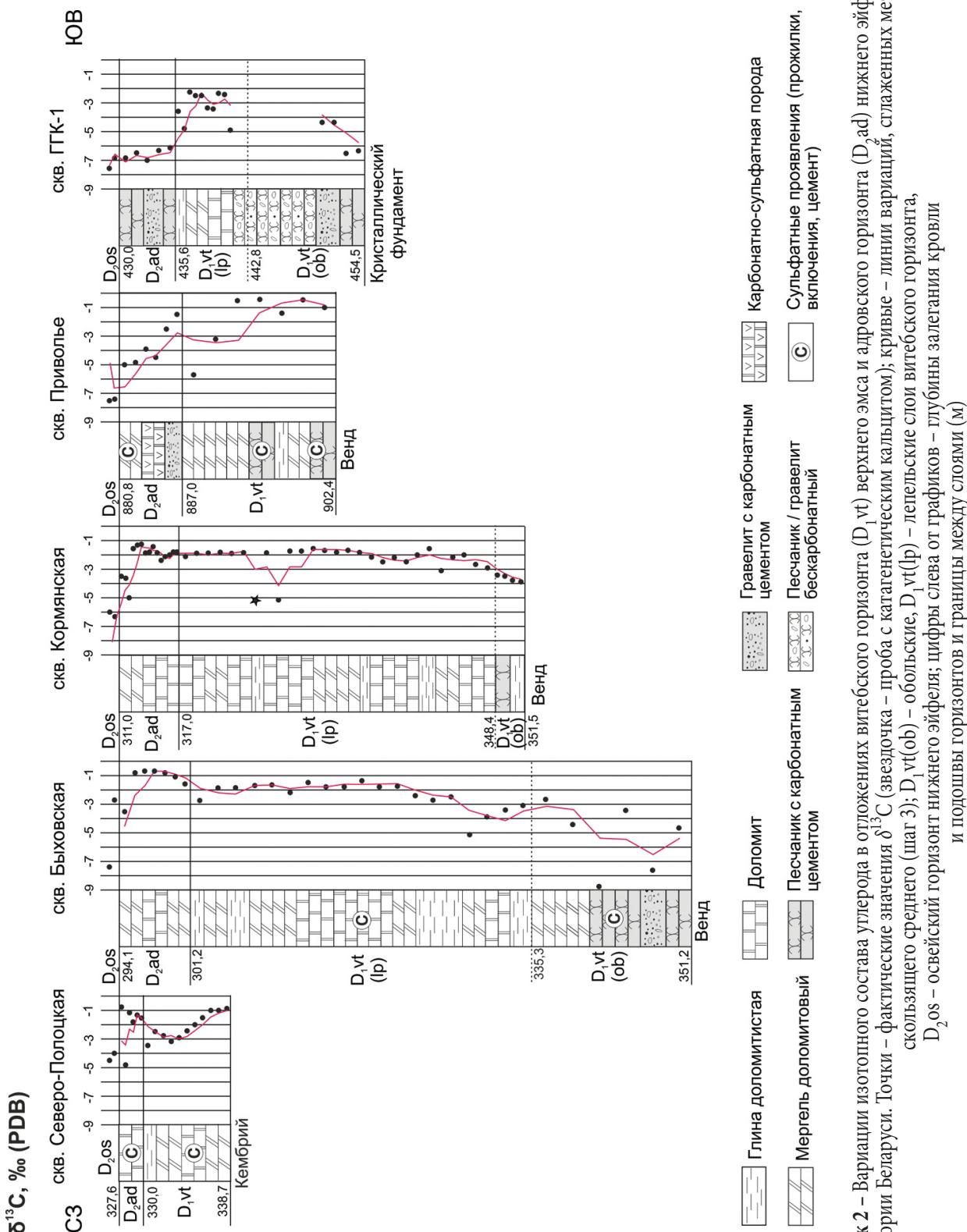
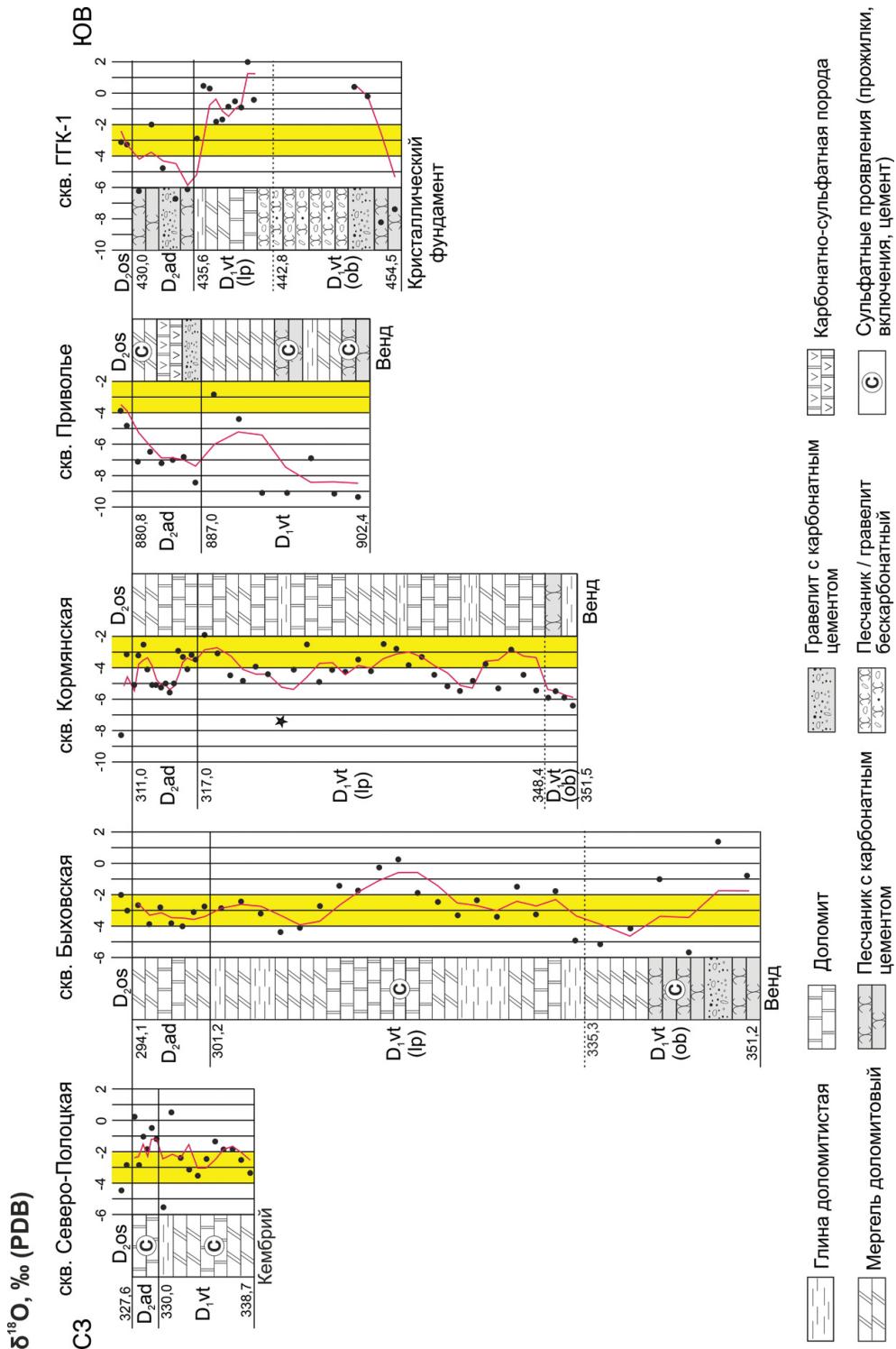


Рисунок 2 – Вариации изотопного состава улгерода в отложениях витебского горизонта ($D_{1\text{vt}}$) верхнего эмса и адревского горизонта ($D_{2\text{ad}}$) нижнего эйфеля на территории Беларуси. Точки – фактические значения $\delta^{13}\text{C}$ (звездочка – проба с катагенетическим кальцитом); кривые – линии вариаций, сложенных методом скользящего среднего (шаг 3); $D_{1\text{vt}}(\text{ob})$ – обольские, $D_{1\text{vt}}(\text{lp})$ – лепельские слои витебского горизонта, $D_{2\text{os}}$ – освейский горизонт нижнего эйфеля; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов и границы между слоями (м)



Изображение 3 – Вариации изотопного состава кислорода в отложениях витебского горизонта ($D_{1\text{vt}}$) верхнего эмса и адрровского горизонта ($D_{2\text{ad}}$) нижнего эйфеля на территории Беларусь. Точки – фактические значения $\delta^{18}\text{O}$ (звездочка – проба с катагенетическим кальцитом); кривые – линии вариаций, сплаженных методом скользящего среднего (шаг 3); $D_{1\text{vt}(\text{ob})}$ – обольские, $D_{1\text{vt}(\text{lp})}$ – лепельские слои витебского горизонта, $D_{2\text{os}}$ – освейский горизонт нижнего эйфеля; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов и границы между слоями (м); заливка – интервал значений $\delta^{18}\text{O}$, наиболее характерных для карбонатов эмского и эйфельского моря по глобальным оценкам [24; 25; 27; 29; 30]

Глубина залегания витебско-адровской толщи в скв. ГГК-1 – 430,0–454,5 м. Витебский горизонт (18,9 м) здесь подразделяется на обольские (11,7 м) и лепельские (7,2 м) слои. Первые представлены ритмичным чередованием разнозернистых полевошпатово-кварцевых песчаников и гравелитов. Окраска пород серая, охристая, красная. В нижней части обольского разреза песчаники содержат базально-поровый и пойкилитовый карбонатный цемент. Лепельские слои сложены чередующимися доломитистыми глинами, доломитовыми мергелями и известковистыми доломитами. В нижней части присутствуют песчаники с карбонатным цементом и песчано-алевритовые породы. Цвет лепельских пород серый, розовато- и зеленовато-серый, коричневый, зеленый, бордовый. Породы адровского горизонта (5,6 м) – это преимущественно зеленовато-серые полевошпатово-кварцевые песчаники разной зернистости с известковым базально-поровым и пойкилитовым цементом.

Витебско-адровские образования в разрезе скв. Приволье залегают гораздо глубже (880,8–902,4 м), чем в остальных четырех рассматриваемых скважинах. Этот разрез расположен в юго-восточ-

ной части Азделинского вулкана, действовавшего в воронежско-чернинское время франского века позднего девона [13], и в ареале самой высокой в Беларусь плотности современного теплового потока [5]. На витебский горизонт здесь приходится 15,4, на адровский – 6,2 м разреза. Витебские породы представлены серыми, зеленовато- и светло-серыми, иногда бежевыми доломитовыми мергелями, доломитистыми глинами, разнозернистыми песчаниками с карбонатным и гипсово-карбонатным цементом, реже – известковистыми доломитами. Адровский горизонт сложен переслаиванием серых, светло-серых, коричневато-серых доломитовых мергелей, доломитистых глин, иногда с прожилками и корочками гипса, в том числе селенита, песчаников с карбонатным и гипсовым цементом, карбонатно-ангидритовых пород.

Содержание C_{opr} в отложениях изучаемых разрезов в целом невысокое (табл. 2) – в подавляющем большинстве образцов находится на уровне субдоманиоидов (0,1–0,5 %) и пород со сверхрассеянным органическим веществом (<0,1 %) [20]. Лишь в скв. Приволье доманиоиды (0,5–5,0 % C_{opr}) преувеличивают над субдоманиоидами.

Таблица 2 – Статистическая характеристика распределения содержания C_{opr} (%) в породах адровского и витебского горизонтов на территории Беларусь

Скважина (n)	\bar{x}	Субдоманиоиды (0,1–0,5 % C_{opr}) и породы со сверхрассеянным $C_{\text{opr}} (<0,1 \%)$				Доманиоиды (0,5–5,0 % C_{opr})			
		n	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	n	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}
Адровский горизонт									
Северо-Полоцкая (6)	0,31	4	0,13	0,22	0,17	2	0,56	0,62	0,59
Быховская (6)	0,30	6	0,19	0,38	0,30	0	–	–	–
Кормянская (15)	0,38	12	0,15	0,39	0,23	3	0,98	1,05	1,00
Приволье (6)	1,66	2	0,15	0,22	0,19	4	0,88	4,78	2,39
ГГК-1 (5)	0,10	5	0,06	0,21	0,10	0	–	–	–
Витебский горизонт									
Северо-Полоцкая (11)	0,24	10	0,13	0,36	0,20	1	–	–	0,69
Быховская (24)	0,38	19	0,09	0,44	0,23	5	0,59	1,76	0,93
D ₂ lp (18)	0,43	13	0,09	0,44	0,24	5	0,59	1,76	0,93
D ₂ ob (6)	0,20	6	0,11	0,38	0,20	0	–	–	–
Кормянская (30)	0,26	27	0,07	0,44	0,18	3	0,67	1,19	0,94
D ₂ lp (26)	0,27	23	0,07	0,44	0,18	3	0,67	1,19	0,94
D ₂ ob (4)	0,20	4	0,11	0,24	0,20	0	–	–	–
Приволье (7)	0,62	3	0,12	0,40	0,27	4	0,75	0,97	0,89
ГГК-1 (14)	0,10	14	0,01	0,19	0,10	0	–	–	–
D ₂ lp (10)	0,12	10	0,06	0,19	0,12	0	–	–	–
D ₂ ob (4)	0,05	4	0,01	0,07	0,05	0	–	–	–

Примечания: n – число определений, \bar{x} – среднее арифметическое (курсивом дано единичное значение), x_{\min} и x_{\max} – минимальное и максимальное значения; D₂lp – лепельские слои, D₂ob – обольские слои.

ГЕОХИМИЯ ИЗОТОПОВ

Как было показано в предыдущем разделе статьи, взятые для изотопно-геохимического изучения витебско-адровские разрезы достаточно разнообразны по вещественному наполнению. Наряду с доминирующими доломитовыми мергелями, доломитами и доломитистыми глинами присутствуют интервалы, представленные песчаниками, гравелитами и карбонатно-сульфатными породами. В глинисто-карбонатных и терригенных породах иногда содержатся сульфатные проявления в виде прослоев, включений и цемента. Названные литологические особенности разрезов свидетельствуют о том, что факторами формирования изотопного состава карбонатных углерода и кислорода в витебских и адровских породах могли быть периодически изменяющиеся глубина моря, интенсивность притока континентальных вод, соленость морской воды. С учетом наличия в разрезах изначально высокопроницаемых терригенных пород, скементированных карбонатным цементом, и интервалов с кристаллами кальцита в кавернах, а также неглубокого залегания витебско-адровских пород вероятна также роль инфильтрационного катагенеза в формировании изотопной картины. Принимая во внимание специфику разреза Приволье, заключающуюся в его размещении в области позднедевонского вулкана и в зоне повышенной плотности современного теплового потока, следует проанализировать возможность термального воздействия на формирование изотопного состава кислорода катагенетических карбонатов. Что касается возможной роли превращения органического углерода в карбонатный в области седimentации или в зоне диагенеза, то, судя по графикам соотношений C_{opr} и $\delta^{13}\text{C}$ (рис. 4), она вряд ли была существенной. Лишь для разреза Приволье, породы которого богаче органическим веществом, чем остальные, можно фрагментарно усмотреть не очень внятную связь между этими параметрами.

Рассмотрение частотного распределения показателей изотопного состава углерода и кислорода показывает, что в общей выборке, состоящей из данных по всем пяти скважинам (рис. 5), доминируют близнуклевые значения $\delta^{13}\text{C}$, соответствующие нормальному морским цифрам для седиментационных карбонатов, и величины $\delta^{18}\text{O}$, характерные для эмса и эйфеля ($-4\ldots-2\text{‰}$) на обобщенной хемостратиграфической кривой, построенной по результатам анализа раковин брахиопод из девонских отложе-

ний США, Испании, Марокко, России (Сибирь) и Китая [24; 25; 27; 29; 30]. Однако имеется немало отклонений от этих преобладающих значений в ту и другую сторону. Особенно много сниженных и низких величин и $\delta^{13}\text{C}$, и $\delta^{18}\text{O}$ в разрезах Приволье и ГГК-1. Рассмотрим погоризонтную динамику изотопных показателей.

Витебский горизонт

Значительной схожестью характеризуются конфигурации изотопных кривых для витебского горизонта в разрезах скважин Северо-Полоцкая, Быховская и Кормянская; это касается обоих рассматриваемых изотопов (см. рис. 2, 3). Преобладающая масса значений $\delta^{13}\text{C}$ соответствует или близка величинам, свойственным для морских седиментационных карбонатов, а значения $\delta^{18}\text{O}$ в основном соответствуют цифрам, присущим карбонатам эмского века. Обратим внимание на отклонения от нормально-морских цифр в этих разрезах.

В средней части витебского горизонта Северо-Полоцкого разреза имеется отрицательный экскурс $\delta^{13}\text{C}$ небольшой амплитуды (не более 4 ‰), который, вероятно, сигнализирует о некотором обмелении бассейна и увеличении в нем роли вод суши, обогащенных изотопно-легким почвенным углеродом. Предположение об обмелении бассейна согласуется с загипсованностью пород.

В Быховском разрезе витебского горизонта на обольские слои приходится отрицательный экскурс $\delta^{13}\text{C}$ (в среднем $-5,3\text{‰}$, амплитуда примерно 6 ‰). Присутствие здесь гипсовых проявлений указывает на обмеление бассейна и увеличение роли вод континентального стока в седиментационной геохимической системе. Об этом же свидетельствует и то, что значительное место в обольских слоях принадлежит песчаникам и гравелитам. На фоне углеродно-изотопного отрицательного экскурса в обольских слоях имеют место сильные флюктуации $\delta^{18}\text{O}$. Видятся две их возможные причины: неравномерная интенсивность поступления водных потоков с суши, что приводило к изменениям температуры воды в бассейне, и удаление изотопа ^{16}O из воды при ее испарении [22]. Вторая из названных причин, вероятно, объясняет также положительный экскурс $\delta^{18}\text{O}$ с амплитудой в 4 ‰ в средней части лепельских слоев витебского горизонта Быховского разреза, отмеченной проявлениями гипса.

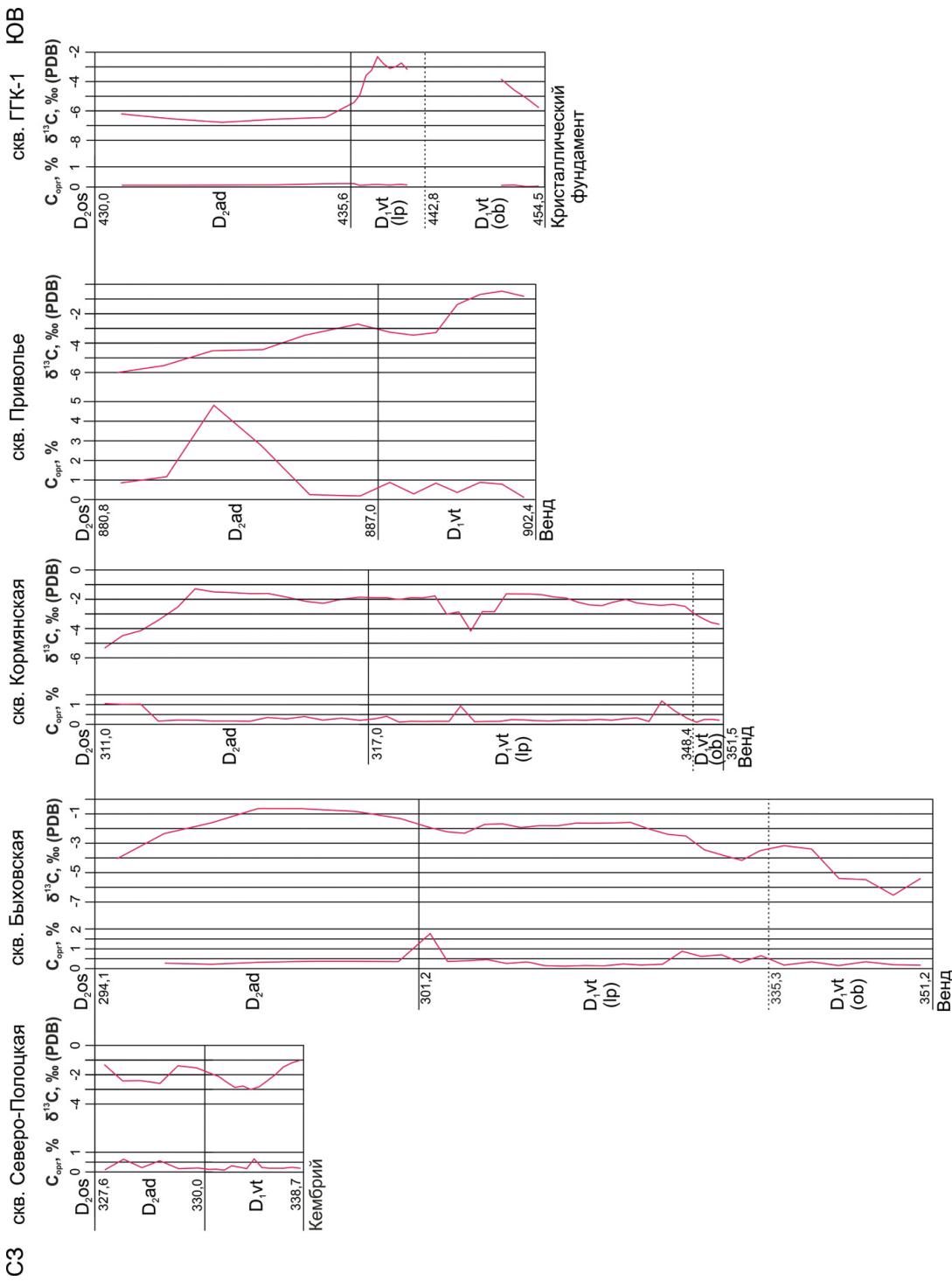


Рисунок 4 – Соотношение содержания $C_{\text{орг}}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в отложениях витебского горизонта ($D_1 \text{vt}$) верхнего эмса и адревского горизонта ($D_2 \text{ad}$) нижнего эйфеля на территории Беларусь. Линии вариаций $C_{\text{орг}}$ построены по фактическим содержаниям, линии $\delta^{13}\text{C}$ – по скользящим средним (шаг 3); $D_1 \text{vt}(\text{lp})$ – обольские, $D_1 \text{vt}(\text{ob})$ – белельские слои витебского горизонта, $D_2 \text{os}$ – оловейский горизонт, цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов и границы между слоями (м)

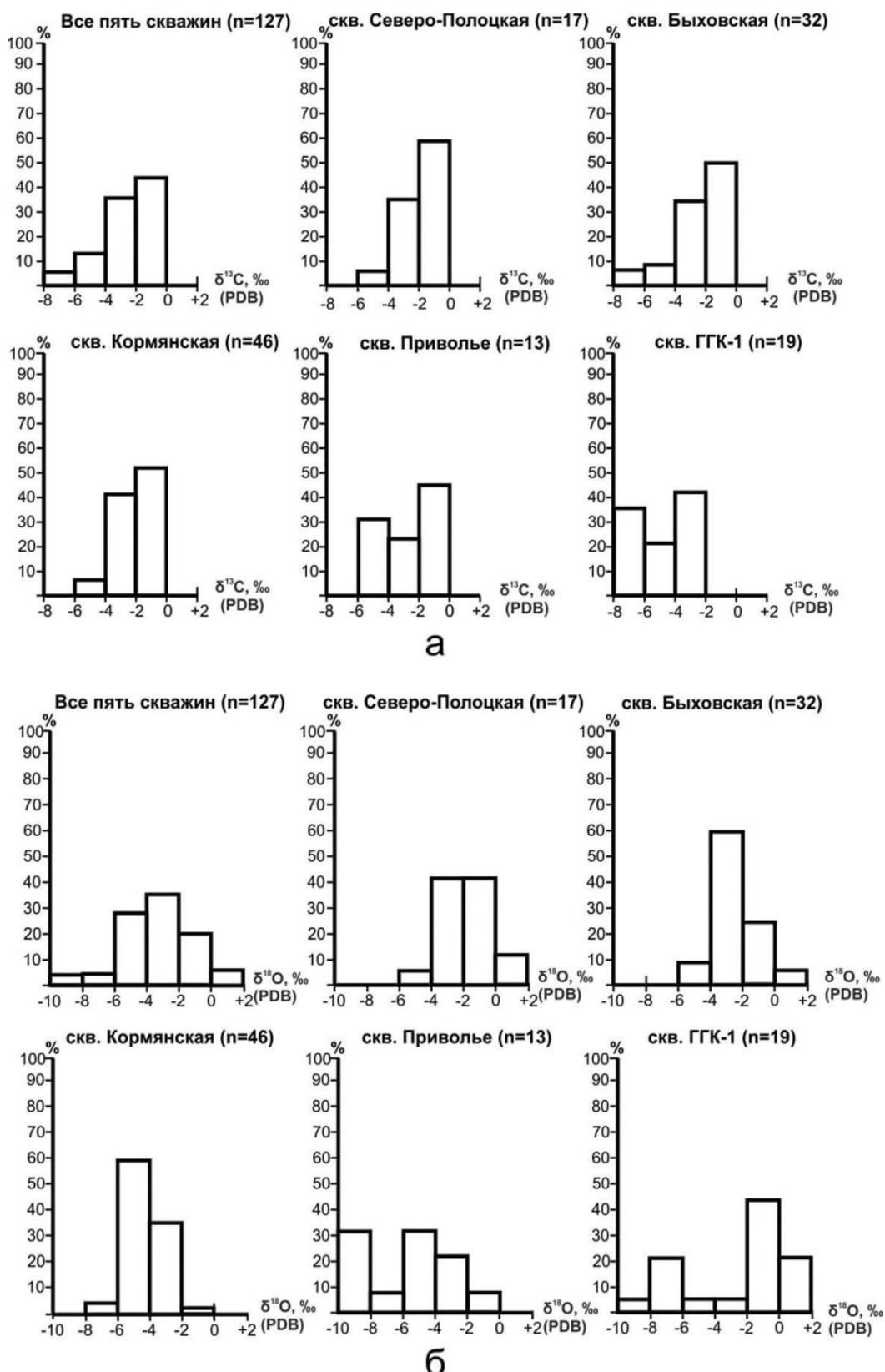


Рисунок 5 – Гистограммы распределения $\delta^{13}\text{C}$ (а) и $\delta^{18}\text{O}$ (б) в отложениях витебского (верхний эмс) и адревского (нижний эйфель) горизонтов в пяти разрезах на территории Беларуси (n – число определений)

В обольских слоях Кормянского разреза, так же как в Быховском, заметны сниженные относительно лепельских слоев значения $\delta^{13}\text{C}$. Однако здесь этот отрицательный экскурс, связанный с усилением континентального стока, в отличие от Быховского разреза, лишь намечается. Это, вероятно, обусловлено разной интенсивностью поступления вод суши в обольское время. Такое предположение подкрепляется тем, что обольские породы Быховской скважины сложены более грубым обломочным материалом (песчаники и гравелиты), чем Кормянской (песчаники и глины). Флуктуации значений $\delta^{18}\text{O}$ в витебском горизонте Кормянского разреза, по-видимому, вызваны изменениями глубины морского бассейна и, как следствие, температуры воды. Однако не исключена и роль инфильтрационного катагенеза. В разрезе из лепельских слоев (глубина 328,7 м), представленном смесью вмещающего известковистого доломита и явно катагенетических кристаллов кальцита из трещины в нем, значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляют -5,2 и -7,4 ‰ соответственно (см. рис. 2, 3, табл. 1). Это свидетельствует об образовании кальцита в гидрохимической среде с участием изотопно-легких по кислороду и несущих легкий почвенный углерод инфильтрационных метеогенных вод.

Разрезы ГГК-1 и Приволье значительно отличаются по конфигурации изотопных кривых и порядку значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ от описанных выше разрезов (см. рис. 2, 3).

В скв. ГГК-1 самая нижняя часть обольских слоев (452,8–453,2 м) характеризуется синхронными отрицательными экскурсами значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Первые здесь опускаются до -6,6 ‰, а вторые – до -8,2 ‰. Это цифры гораздо более низкие, чем характерны для нормально-морских седиментационных карбонатов. Интервал, отмеченный экскурсами, представлен песчаниками и гравелитами с карбонатным базально-поровым и пойкилитовым цементом. Седиментационный базально-поровый цемент формировался в условиях активизации поступления вод континентального стока, которые несли изотопно-легкий почвенный углерод. Сложно сказать, были ли воды суши обогащены также легким изотопом кислорода. С одной стороны, в приэкваториальной области, где находилась в девоне территория Беларуси [9; 10], изотопный состав кислорода атмосферных осадков в связи с широтным эффектом может мало отличаться от такового морской воды [23; 28]. Но, с другой стороны, изотопный состав кислорода атмосферных осадков зависит не только от географической широты, но также от высоты их выпадения, температуры воздуха, сезона, близости к океану и других факторов, способных вызвать искажения широтного эффекта [19; 22; 23; 28]. Основной при-

чиной отрицательных экскурсов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в низах обольского горизонта представляется образование более позднего карбонатного цемента пойкилитового типа, являющегося продуктом медленной кристаллизации, наиболее вероятной в среде подземных вод. Цементация изначально высокопроницаемых пород происходила в обстановке инфильтрационного катагенеза под воздействием атмогенных подземных растворов. Последние были обогащены почвенным углеродом. Изотопный состав их кислорода также мог быть облегченным по следующей причине. После накопления девонских отложений в районе скв. ГГК-1 наступил очень длительный (до триаса) перерыв в седиментации, когда эти отложения находились на поверхности или вблизи нее. На протяжении этого отрезка времени территория Беларуси перманентно удалялась от экватора [9; 10] и изотопный состав кислорода метеорных осадков (предшественников инфильтрационных подземных вод, способных вызвать цементацию пород) становился все легче и легче [23; 28].

В лепельских слоях разреза ГГК-1 значения $\delta^{13}\text{C}$ несколько более низкие, чем свойственны нормальному морским карбонатам, а $\delta^{18}\text{O}$ – выше, чем присущи седиментационным карбонатам эмского века. Вероятно, такое сочетание изотопных показателей, как и в средней части витебского горизонта Северо-Полоцкого разреза и в обольских слоях – Быховского, указывают на обмеление бассейна и увеличение роли вод континентального стока, сопровождавшие эвапоритовый эпизод, который не завершился образованием гипса.

Разрез витебского горизонта скв. Приволье – самый сложный из всех пяти рассматриваемых с точки зрения интерпретации наблюдаемой изотопной картины. Здесь не только значительный размах значений $\delta^{13}\text{C}$ (-5,8...-0,4 ‰) и $\delta^{18}\text{O}$ (-9,4...-2,8 ‰) и очень низкие доминирующие величины $\delta^{18}\text{O}$, но и необычное сочетание в образцах нижней части горизонта изотопных параметров: нормально- или почти нормально-морские $\delta^{13}\text{C}$ и крайне низкие $\delta^{18}\text{O}$ (см. рис. 2, 3, табл. 1). С нашей точки зрения, с учетом наличия здесь (в том числе и среди проанализированных проб) песчаников с карбонатным и гипсово-карбонатным цементом, такое сочетание можно объяснить катагенетическим новообразованием карбонатов в среде захороненных морских вод или рассолов, не испытавших существенного влияния инфильтрации, обеспечивающей поставку изотопно-легкого почвенного углерода, в условиях повышенных (или высоких) температур. Попробуем обосновать эту версию геологическими фактами.

В интервале глубин 268,0–417,3 м разреза Приволье залегает магматическая толща франского возрас-

та (долериты, трахидолериты, трахиты, фонолиты, лабиринтиты и туфы), перекрытая отложениями триаса. Таким образом, после формирования девонского комплекса пород в этом районе наступил перерыв в осадконакоплении, который длился 120 млн лет. Трудно судить, как существенно и глубоко по разрезу атмогенные инфильтрационные воды могли в это время воздействовать здесь на девонские породы, поскольку неясно, насколько водопроницаемы магматические образования, а в скв. Приволье гидрогеологическое опробование не проводилось. Однако франские эфузивы были опробованы на воду в двух скважинах, пробуренных недалеко от района исследований (см. рис. 1) [6]. В параметрической скв. Прибор 1 эфузивы, залегающие на глубинах 353–961 м, оказались безводными, а в скв. Васильевка 1 из трещиноватых кератофиров в интервале 609–660 м был получен приток хлоридных натриевых рассолов с минерализацией 40,3 г/л и содержанием брома 51,6 мг/л, которые В. М. Шимановичем квалифицированы как несколько разбавленные седиментационные. На этом основании можно допустить, что существенного влияния инфильтрационных вод на отложения, залегающие под магматической толщей, и особенно на самые погруженные из них – витебские, в разрезе Приволье не было.

Что касается температурного фактора формирования изотопного состава кислорода карбонатов в витебском горизонте рассматриваемого разреза, то важно отметить следующее. В речицкое время франского века территории Припятского прогиба начала испытывать превращение из синеклизы в рифтовый грабен [4]. Стал существенно возрастать тепловой поток. Пластовые температуры во время активного рифтообразования были существенно выше современных. По данным отражательной способности витринита, полученным Л. Ф. Ажигревич, на глубинах 1000–1500 м они могли достигать 90 °С, а в интервале 1500–2000 м – 115 °С [18]. Особенno высокая палеогеотермическая напряженность имела место в северо-восточной части прогиба, составным элементом которой является Северо-Припятское плечо, где расположен разрез Приволье. Как уже сказано выше, на северо-востоке прогиба и сейчас отмечается самая большая в Беларуси плотность теплового потока. Воспользуемся изотопным геотермометром доломит – вода [26] для расчета возможной температуры образования катагенетических карбонатов в породах витебского горизонта разреза Приволье. Наблюдаемое очень низкое значение $\delta^{18}\text{O}$ в карбонате, равное –9 ‰, при условии, что минералообразующий раствор имел $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) такое, как было свойственно эмсской морской воде (–4 ‰), соответствует температуре 52,7 °С. При $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) воды

–5 ‰ температура составит 47,2 °С. С учетом сказанного выше о геотермии региона, рассчитанные температуры не кажутся невероятными. Они могли быть достигнуты за счет роста общей плотности теплового потока при рифтообразовании и в результате локального прогрева пород и заключенных в них растворов в области контакта с магматическими массами Азделинского вулкана. Стоит добавить, что, вероятно, изначально проницаемые песчаные породы были проводниками горячих растворов, повлиявших и на менее проницаемые мергели и глины.

В верхней части витебского горизонта разреза Приволье изотопный состав углерода и кислорода карбонатного материала мергельно-доломитовых пород возвращается к значениям, характерным для седиментационных карбонатов или близких к ним. Вероятно, эти породы в связи с низкой проницаемостью были не затронуты или слабо затронуты катагенезом.

Адровский горизонт

Так же как и в отложениях витебского горизонта, динамика значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ по разрезу адровского горизонта в скв. Северо-Полоцкая, Быховская и Кормянская сходная (см. рис. 2, 3). Величины $\delta^{13}\text{C}$ на большей части горизонта во всех трех разрезах нормально-морские, а к границе с вышедшедежущим освейским горизонтом падают. Значения $\delta^{18}\text{O}$ в основном на уровне цифр, свойственных эйфельским карбонатам, но есть отклонения от них в обе стороны. Представляется возможной следующая трактовка поведения изотопов. На рубеже адровского и освейского времени происходит существенное обмеление бассейна, и в системе седиментации усиливается роль вод суши с их изотопно-легким почвенным углеродом. Эта перестройка, сопровождающая эвапоритовый эпизод, то в большей, то в меньшей степени отражается в разрезах всех трех скважин, где нижняя (карбонатно-сульфатная) пачка освейского горизонта отмечена отрицательными экскурсами $\delta^{13}\text{C}$ [17]. Значения $\delta^{18}\text{O}$, более высокие (скв. Северо-Полоцкая) и более низкие (скв. Кормянская), чем характерны для эйфельских карбонатов, по-видимому, обусловлены разным сочетанием вклада двух процессов: испарением морской воды, ведущим к утяжелению изотопного состава кислорода, и нагреванием воды на мелководье, способствующим его облегчению.

Отложения адровского горизонта скв. ГГК-1 характеризуются существенно сниженными значениями $\delta^{13}\text{C}$ (в среднем –6,5 ‰) и $\delta^{18}\text{O}$ (–5,2 ‰), охватывающими разрез практически целиком (см. рис. 2, 3). Выше, при описании витебского горизонта, мы отметили наличие таких же синхронно пониженных показателей изотопного состава углерода и кислорода в нижней части обольских слоев разреза этой

скважины, которые представлены, как и адрровский горизонт, песчаниками и гравелитами с базально-поровым и пойкилитовым карбонатным цементом. Там же была дана достаточно подробная интерпретация сниженных $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, которая вполне пригодна и для адрровского горизонта. Не повторяя ее здесь полностью, скажем, что основной причиной наблюдаемых цифр является образование инфильтрационно-катагенетического карбонатного цемента пойкилитового типа. В плане корреляции изотопных и литофаціальных вариаций показательно сравнение поведения изотопов в разрезах адрровского горизонта, вскрытого скважинами ГГК-1, Быховской и Кормянской. В двух последних адрровский горизонт сложен не песчаниками и гравелитами, как в скв. ГГК-1, а преимущественно низкопроницаемыми доломитами и мергелями, несущими изотопные сигналы нормальной морской седиментации.

Порядок значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ и динамику изотопных кривых в адрровском разрезе скв. Приволье (см. рис. 2, 3) трудно проинтерпретировать однозначно. Величины $\delta^{13}\text{C}$ монотонно снижаются по направлению к границе с освейским горизонтом от нормально-морских цифр до $-4\ldots-5\text{‰}$, а значения $\delta^{18}\text{O}$ устойчиво низкие ($-6,5\ldots-8,4\text{‰}$). Облегчение изотопного состава углерода снизу вверх может быть обусловлено (как и в Северо-Полоцком, Быховском и Кормянском разрезах) началом сильного обмеления бассейна с усилением притока вод суши, что особенно ярко проявилось при накоплении залегающих выше освейских отложений, насыщенных проявлениями сульфатов [17]. Не исключено, что при обмелении бассейна некоторый вклад в состав карбонатного углерода внес и изотопно-легкий углерод окисляющегося органического вещества осадков. Это предположение основано на трех фактах. Во-первых, содержание C_{org} в отложениях адрровского горизонта скв. Приволье самое высокое по сравнению с другими разрезами (см. табл. 2). Во-вторых, на графике динамики $\delta^{13}\text{C}$ и C_{org} по разрезу, хоть и не очень внятно, но заметна обратная корреляция величин (см. рис. 4). В-третьих, сами за себя говорят соотношения C_{org} и $\delta^{13}\text{C}$ в доманикоидах ($0,88$ и $-5,0$; $1,08$ и $-4,8$; $4,78$ и $-3,9$; $2,80\%$ и $-4,5\text{‰}$) и субдоманикоидах ($0,22$ и $-2,5$; $0,15\%$ и $-1,4\text{‰}$) (см. табл. 1).

Стабильно низкие цифры $\delta^{18}\text{O}$ карбонатов в адрровском горизонте могут объясняться двояко: влиянием изотопно-легкого состава кислорода вод суши, который, как отмечалось выше, возможен даже в приэкваториальных областях [19; 22; 23; 28], и (по аналогии с витебским горизонтом этой же скважины) наличием карбонатных новообразований, возникших в породах на стадии катагенеза в условиях повышенных температур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнено изотопно-геохимическое изучение карбонатсодержащих отложений витебского (верхний эмс) и адрровского (нижний эйфель) горизонтов Беларуси в разрезах скважин Северо-Полоцкая (юго-восток Латвийской седловины), Быховская (зона соплениения Оршанской впадины и Жлобинской седловины), Кормянская (Жлобинская седловина), Приволье (Северо-Припятское плечо Припятского прогиба) и ГГК-1 (юго-западный край Воронежской антеклизы). Установлены изотопные сигналы седиментационных и постседиментационных событий, согласующиеся с литологическими особенностями разрезов и региональными геологическими процессами.

В Северо-Полоцком, Быховском и Кормянском разрезах, для которых характерна большая схожесть изотопных хемостратиграфических кривых, преобладают значения $\delta^{13}\text{C}$, соответствующие или близкие величинам, свойственным для морских седиментационных карбонатов, и значения $\delta^{18}\text{O}$, присущие карбонатам эмсского и эйфельского веков. Это касается и витебского, и адрровского горизонтов. Вместе с тем, имеются изотопные сигналы усиления роли вод суши при обмелении бассейна (отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$), эвапоритизации (увеличение значений $\delta^{18}\text{O}$) и периодического изменения температуры морской воды, связанного с колебаниями глубины бассейна (разнонаправленные сдвиги $\delta^{18}\text{O}$). Изотопные признаки указанных палеогеографических явлений есть также в лепельских слоях скв. ГГК-1 и адрровском горизонте скв. Приволье. Не исключено, что обмеление адрровского бассейна в районе скв. Приволье сопровождалось окислением органического вещества осадков и превращением C_{org} в карбонатную форму, на что указывают более низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ в доманикоидах, чем в субдоманикоидах.

Синхронные отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ трассируют интервалы разрезов, испытавших воздействие инфильтрационного катагенеза в обольских слоях витебского горизонта и адрровском горизонте скв. ГГК-1 (песчаники и гравелиты с пойкилитовым карбонатным цементом), а также в лепельских слоях витебского горизонта скв. Кормянская (кальцит в трещине).

Необычное сочетание нормально- или почти нормально-морских $\delta^{13}\text{C}$ и крайне низких $\delta^{18}\text{O}$ в нижних частях витебского и адрровского горизонтов разреза Приволье, расположенного в ареале высокой плотности теплового потока и на крыле Азделлинского палеовулкана, предположительно связано

с катагенетическим новообразованием карбонатов в среде захороненных морских вод или рассолов, не испытавших существенного влияния инфильтрации, в условиях повышенных (или высоких) температур.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ре-

сурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг. (подпрограмма 10.4 «Белорусские недра») и в соответствии с планом научно-исследовательских работ Геологического института РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Валюкявичюс, Ю. Ю.** Девонская система / Ю. Ю. Валюкявичюс, В. К. Голубцов // Геологическая карта СССР. Масштаб 1:1000000 (новая серия) : объяснительная записка. Лист N-(34), (35). – Вильнюс ; Ленинград, 1986. – С. 53–68.
2. **Вариации** изотопного состава углерода и кислорода в нижне-среднедевонских отложениях на юго-западе Воронежской антеклизы / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2021. – № 2 (55). – С. 80–94.
3. **Вариации** изотопного состава углерода и кислорода в эмсских и эйфельских отложениях на юго-востоке Латвийской седловины / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2022. – № 1 (56). – С. 67–79.
4. **Геология** Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
5. **Геотермический** атлас Беларуси / под общ. ред. В. И. Зуя. – Минск : Национальная библиотека Беларуси, 2018. – 89 с.
6. **Геохимические** особенности минеральных вод отложений нижней части платформенного чехла Гомельской структурной перемычки и сопредельных территорий / В. И. Толстоеев [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 116–135.
7. **Девон** Воронежской антеклизы и Московской синеклизы / Г. Д. Родионова [и др.]. – М. : Изд-во Воронежского ун-та, 1995. – 265 с.
8. **Девон** и карбон Прибалтики / В. С. Сорокин [и др.]. – Рига : Зинатне, 1981. – 502 с.
9. **Жарков, М. А.** История палеозойского соленакопления / М. А. Жарков. – Новосибирск : Наука, 1978. – 272 с.
10. **Зоненшайн, Л. П.** Тектоника литосферных плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов. – М. : Недра, 1990. – Кн. 1. – 328 с.
11. **Изотопная** хемостратиграфия верхнеэмско-среднеэйфельских отложений в разрезе параметрической скважины Кормянская на Жлобинской седловине / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 2 (51). – С. 64–74.
12. **Изотопная** хемостратиграфия нижне-среднедевонского разреза зоны сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины (параметрическая скважина Быховская) / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 136–148.
13. **Кузьменкова, О. Ф.** Разрез позднедевонских магматических пород параметрической скважины Приволье (Северо-Припятское плечо, Беларусь) / О. Ф. Кузьменкова, А. Г. Лапцевич // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 27–29 сент. 2021 г. – Брест : БрГУ, 2021. – Ч. 1. – С. 72–75.
14. **Махнач, А. А.** Вариации изотопного состава углерода и кислорода в эмсско-франских отложениях Северо-Припятского плеча (юго-восток Беларуси) / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 101–115.
15. **Махнач, А. А.** Геохимия стабильных изотопов в платформенном чехле Беларуси / А. А. Махнач, Н. А. Махнач, Б. Г. Покровский. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 373 с.
16. **Махнач, А. А.** Изотопы углерода и кислорода в среднеэйфельских отложениях Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 110–129.
17. **Махнач, А. А.** Изотопы C, O, S, Sr в отложениях освейского горизонта нижнего эйфеля на территории Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Литология и полезные ископаемые. – 2023. – № 4. – С. 387–406.
18. **Махнач, А. А.** Катагенез и подземные воды / А. А. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1989. – 335 с.
19. **Никаноров, А. М.** Стабильные изотопы в гидрохимии / А. М. Никаноров, Ю. А. Федоров. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 247 с.
20. **Систематика** и классификации осадочных пород и их аналогов / В. Н. Шванов [и др.] – СПб. : Недра, 1998. – 352 с.

21. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : ГП «БелНИГРИ», 2010. – 282 с.
22. Фор, Г. Основы изотопной геологии: пер. с англ. / Г. Фор. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
23. Fricke, H. C. The correlation between $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of meteoric water and surface temperature: its use in investigating terrestrial climate change over geologic time / H. C Fricke, J. R O'Neil // Earth Planet. Sci. Lett. – 1999. – Vol. 170. – P. 181–196.
24. Grossman, E. L. Oxygen Isotope Stratigraphy / E. L. Grossman // The Geologic Time Scale 2012 / eds. F. M. Gradstein [et al.]. – Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo : Elsevier, 2012. – P. 181–206.
25. Grossman, E. L. Oxygen Isotope Stratigraphy / E. L. Grossman, M. M. Joachimski // The Geologic Time Scale 2020 / eds. F. M. Gradstein [et al.]. – Amsterdam, Oxford, Cambridge (MA, US) : Elsevier, 2020. – P. 279–307.
26. Matthews, A. Oxygen isotope fractionation during the dolomitization of calcium carbonate / A. Matthews, A. Katz // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 1977. – Vol. 41, No 10. – P. 1431–1438.
27. Oxygen isotope evolution of biogenic calcite and apatite during the Middle and Late Devonian / M. M. Joachimski [et al.] // International Journal of Earth Sciences. – 2004. – No 93 (4). – P. 542–553.
28. Rozanski, K. Isotopic Patterns in Modern Global Precipitation / K. Rozanski, L. Araguas-Araguas, R. Gonfiantini // Climate Change in Continental Isotope Records, Geophysical Monograph Series. – Washington DC : AGU, 1993. – Vol. 78. – 36 p.
29. Van Geldern, R. Carbon, oxygen and strontium isotope records of Devonian brachiopod shell calcite / R. van Geldern // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2006. – No 240 (1–2). – P. 47–67.
30. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater / J. Veizer [et al.] // Chemical Geology. – 1999. – No 161 (1–3). – P. 59–88.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 16.09.2023

Рэцензент У. М. Шымановіч

ІЗАТОПЫ ВУГЛЯРОДУ І КІСЛАРОДУ Ў АДКЛАДАХ ПАМЕЖНЫХ ГАРЫЗОНТАЎ НІЖНЯГА І СЯРЭДНЯГА ДЭВОНУ БЕЛАРУСІ

А. А. Махнач¹, Б. Г. Пакроўскі², В. В. Мурашка¹

¹Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: amahnach1951@gmail.com
²Геалагічны інстытут РАН
Пыжэўскі зав., 7, 119017, Москва, Расія
E-mail: pokrov@ginras.ru

Выканана ізатопна-геахімічнае вывучэнне карбанатутрымліваючых адкладаў віцебскага (верхні эмс) і адроўскага (ніжні эйфель) гарызонтаў Беларусі ў разрэзах свідравін Паўночна-Полацкая (паўднёвы ўсход Латвійскай седлавіны), Быхаўская (зона сучлянення Аршанская упадзіны і Жлобінскай седлавіны), Кармянская (Жлобінская седлавіна), Прыволле (Паўночна-Прыпяцкая плячо Прыпяцкага прагіну) і ГГК-1 (паўднёва-заходні ўскраек Варонежскай антэклізы).

У адкладах віцебскага і адроўскага гарызонтаў Паўночна-Полацкага, Быхаўскага і Кармянскага разрэз-заштыву пераважаюць значэнні $\delta^{13}\text{C}$, блізкія да велічынь тыповых для марскіх седиментацыйных карбанатаў, і значэнні $\delta^{18}\text{O}$, якія ўласцівы карбанатам эмскага і эйфельскага вякоў. Аднак маюцца ізатопныя сігналы ўзмацнення ролі вод сушы пры абмиянні басейна (адмоўныя экспкурсы $\delta^{13}\text{C}$), эваларытызацыі (павелічэнне значэння $\delta^{18}\text{O}$) і перыядычнага змянення тэмпературы марской вады, якое звязана з ваганнямі глыбіні басейна (рэзданакіраваныя зрухи $\delta^{18}\text{O}$).

Сінхронныя адмоўныя экспкурсы $\delta^{13}\text{C}$ і $\delta^{18}\text{O}$ трасіруюць інтэрвалы разрэзаў, якія падвергліся ўздзеянню інфільтрацыйнага катагенезу ў обальскіх слаях віцебскага гарызонту і ў адроўскім гарызонце свідравіны ГГК-1, а таксама ў лепельскіх слаях віцебскага гарызонту свідравіны Кармянская.

Незвычайнае спалучэнне нармальна-марскіх $\delta^{13}\text{C}$ і вельмі нізкіх $\delta^{18}\text{O}$ у ніжніх частках віцебскага і адроўскага гарызонтаў разрэза Прыволле, які знаходіцца ў арэяле найвышэйшай у Беларусі шчыльнасці

цеплавога струменю і на крыле палеавулкана, меркавана звязана з катагенетычным новаўтварэннем карбонатаў у асяроддзі пахаваных марскіх вод або расолаў, якія не адчуле значнага ўплыву інфільтрацыі, ва ўмовах падвышаных (ці высокіх) тэмператур.

Ключавыя слова: Беларусь, віцебскі гарызонт (верхні эмс), адровскі гарызонт (ніжні эйфель), карбонатутрымліваючыя адклады, ізатопы вугляроду, ізатопы кіслароду.

CARBON AND OXYGEN ISOTOPES IN DEPOSITS OF THE LOWER AND MIDDLE DEVONIAN BORDER HORIZONS IN BELARUS

A. Makhnach¹, B. Pokrovsky², O. Murashko¹

¹State Enterprise «Research and Production Center for Geology»
Branch «Institute of Geology»

7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: amahnach1951@gmail.com

²The Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7 Pyzhevsky Lane, 119017, Moscow, Russia
E-mail: pokrov@ginras.ru

The isotope-geochemical study of deposits containing carbonate from the Upper Emsian Vitebsk and Lower Eifelian Adrov horizons in Belarus has been carried out in geological sections of five boreholes. These boreholes are the North-Polotsk (southeast of the Latvian Saddle), Bykhov (the conjugation zone of the Orsha Depression and Zhlobin Saddle), Korma (Zhlobin Saddle), Privilje (the North Shoulder of the Pripyat Trough) and GGK-1 (southwestern edge of the Voronezh Anteclise).

The $\delta^{13}\text{C}$ values typical for marine sedimentary carbonates and $\delta^{18}\text{O}$ values characteristic of Emsian and Eifelian carbonates prevail in the Vitebsk and Adrov horizon deposits of the North-Polotsk, Bykhov and Korma sections. However, there are isotopic signals testifying about the increase of land water role during the basin shallowing (negative $\delta^{13}\text{C}$ excursions), evaporitization ($\delta^{18}\text{O}$ increase) and periodic changes of sea water temperature due to sea depth fluctuations (negative or positive $\delta^{18}\text{O}$ shifts).

Synchronous negative $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ excursions trace intervals of geological sections which were affected by infiltration catagenesis in the Vitebsk horizon Obol layers and Adrov horizon of the GGK-1 section as well as in the Vitebsk horizon Lepel layers of the Korma section.

The unusual combination of normal sea $\delta^{13}\text{C}$ values and very low $\delta^{18}\text{O}$ ones in lower parts of the Vitebsk and Adrov horizons in the Privilje section situated in the area of the highest in Belarus heat flow density and on the flank of paleovolcano is, presumably, connected with new formation of catagenetic carbonates in the environment of buried sea water or brine which were not be significantly affected by infiltration, and at elevated (or high) temperature.

Keywords: Belarus, Vitebsk horizon (Upper Emsian), Adrov horizon (Lower Eifelian), carbonate-containing sediments, carbon isotopes, oxygen isotopes.

ГЕАФІЗІКА

УДК 550.3+552(99-11)

РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗЕМЛИ ЭНДЕРБІ (АНТАРКТИДА) В 2021–2023 гг.

Я. Г. Грибик¹, Р. Г. Гарецкий¹, Р. Э. Гирин¹, П. В. Шаблыко¹, С. Л. Сушкевич¹,
М. П. Гуринович², И. Л. Колосов²

¹Институт природопользования Национальной академии наук Беларусь
ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь
E-mail: yaroslavgribik@tut.by

²Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь

В статье приведены результаты геолого-геофизических исследований Белорусской Антарктической экспедиции (БАЭ) 14 и 15, выполненных в период полевых работ в 2021–2023 гг. Предшествовавшими геолого-геофизическими работами, выполненными в период реализации проектов БАЭ-1–БАЭ-10 выполнены общие геологические и геофизические исследования в доступных местах Вечернегорской площади. Анализируемый настоящий этап, выполняемый в последние годы, расширен комплексом исследований, включающих радиометрическую съемку, киппаметрические исследования, шлиховое опробование обломочных пород, по данным которых построены карты радиометрической съемки, шлихового опробования, киппаметрической съемки. По результатам анализа магнитной и немагнитной фракций проб шлиховой съемки установлены разноплановые минеральные ассоциации. По макро- и микроскопическому анализу шлифов определен минеральный состав горных пород. Исследования этого периода изучения Вечернегорской площади позволяют расширить спектр геолого-геофизических исследований.

Ключевые слова: Вечернегорская площадь, радиометрическая съемка, шлиховое опробование, петрографический состав, минеральный состав, гамма-активность, гранитогнейс.

ВВЕДЕНИЕ

За 15-летний период научные геолого-геофизические исследования Беларуси в Антарктике разделяются по содержанию, видам и результатам на два условных этапа. Это этап предварительных рекогносцировочных работ (2008–2020 гг., БАЭ-1–БАЭ-13) и этап детализационных рекогносцировочных работ (2021–2023 гг., БАЭ-14, БАЭ-15). В период первого этапа, выполненного в летний антарктический экспедиционный сезон (декабрь – март), выполнены маршрутные геофизические исследования в районе выхода коренных пород на Вечернегорской площади геомагнитной, гравитационной съемкой с обработкой методических, практических полевых исследований доступным приборным оборудованием и методами интерпретации. В период этого этапа выполнено рекогносцировочное геологическое изучение образцов горных пород с определением их петрографических и петрофизических параметров. По результатам выполненных работ этого этапа составлены соответствующие геолого-геофизические карты Вечернегорской площади.

На этапе текущих детализационных рекогносцировочных работ, выполненных в период работ

БАЭ-14 и БАЭ-15, геолого-геофизические исследования направлены на детализацию элементов геологических условий Вечернегорской площади на базе более широкого комплекса исследований, в которые включены радиометрическая съемка, шлиховое опробование участков сноса обломочных пород, киппаметрические исследования горных пород, изучение состава горных пород по шлифам.

Результаты представлены в настоящей статье с изложением работ по соответствующим этапам.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЙ ЭТАП

В начальный период работ в Антарктиде в летний антарктический сезон 2008–2009 гг. белорусские специалисты в составе 54-й Российской антарктической экспедиции выполнили комплекс научных детальных рекогносцировочных геолого-геофизических работ на Вечернегорской площади и на расположенной в 30 км к югу от нее станции «Молодежная». Были отобраны образцы горных пород, проведена оценка участка под геодинамический полигон, а также стационарные геомагнитные и гравиметрические наблюдения в немагнитном павильоне. По результатам

лабораторного изучения петрографических, петрохимических и петрофизических свойств образцов горных пород и с учетом геологических исследований докембрийского основания окрестностей станции «Молодежная» в 1973 г. американским геологом Э. С. Грэв [12; 13] (участник 18-й Советской антарктической экспедиции) и научным сотрудником Института природопользования НАН Беларуси О. В. Мясниковым составлена рекогносцировочная геологическая карта территории горы Вечерней, названной затем в соответствии с геологическими правилами Вечернегорской площадью [4; 8].

Следует признать, что территория Вечернегорской площади так же, как и весь антарктический регион, характеризуется весьма невысокой обнаженностью коренных горных пород, что в значительной степени затрудняет применение традиционных геолого-геофизических методов исследования из-за закрытости большей части региона исследования снежно-ледяным покровом (рис. 1).

С учетом реальных придонных антарктических условий проводятся полевые геолого-геофизические исследования, обобщенные участником многократных экспедиций П. В. Шаблыко [9; 10].

Земля Эндерби и Вечернегорская площадь имеют ярко выраженное блоковое строение, обусловленное неравномерностью развития древних подвижных докембрийских террейнов и обновленное на фанерозойском этапе платформенного развития, особенно в новейшее время, связанное с формиро-

ванием современной пассивной континентальной окраины. Центральная часть гор Земли Эндерби сложена, в основном, метаморфическими породами гранулитовой фации архейского (3,0–3,9 млрд лет) чарнокит-эндербитового комплекса Нейпирского террейна, окруженного с запада, юга и востока чарнокит-гранулитовым поясом Рейнерского террейна протерозойского времени [5; 7; 11].

По результатам предшествующих периодов исследования выполнен следующий комплекс работ, позволяющий определить по основным позициям следующие характеристики.

Аномальное магнитное поле на ней по вертикальной составляющей Z изучено в полевых условиях младшим научным сотрудником П. В. Шаблыко (БАЭ 2017–2018 гг.) и проинтерпретировано профессором Г. И. Карапаевым (рис. 2). В открытых областях (прибрежная часть Вечернегорской площади) оно обусловлено глубинными магнитными неоднородностями геологического разреза с элементами разломно-интрузивной тектоники. В геологическую интерпретацию аномального магнитного поля Z входят, во-первых, процедура его пространственного районирования с разбивкой площади на магнитно-однородные по интенсивности и морфологии блоки и, во-вторых, выявление корреляционно-генетических связей между магнитными аномалиями и вещественным составом горных пород.



Рисунок 1 – Карта-схема района проведения работ на Вечернегорской площади

Наиболее интенсивные аномалии создаются обогащенными ферромагнитными минералами основными, ультраосновными и некоторыми метаморфическими породами, железорудными телами, а менее выраженные отклонения от нормы часто связаны с аналогичными источниками, расположеными на большой глубине, впрочем, как и с основными, кислыми и щелочными породами средней намагниченности.

В районах, где кристаллические породы выходят на поверхность или залегают неглубоко под осадочным покровом малой мощности, как на Вечернегорской площади, магнитные аномалии могут достигнуть очень большой интенсивности (десятки тысяч и даже сотни тысяч нанотесла). Площадь таких аномалий – от нескольких квадратных метров до десятков, а иногда – сотен квадратных километров.

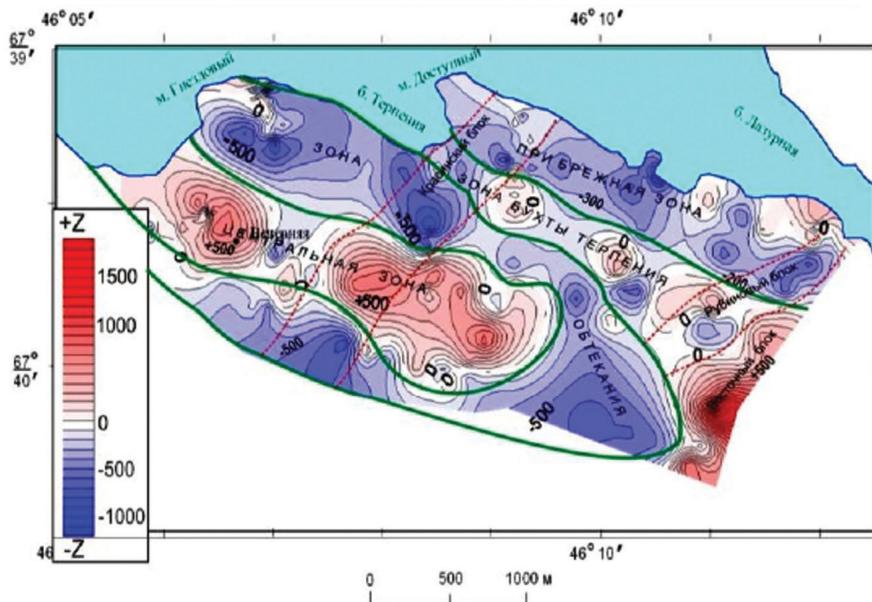


Рисунок 2 – Вечернегорская площадь. Карта районирования аномального магнитного поля Z

Магнитные аномалии четко фиксируют неоднородности главным образом вещества кристаллического фундамента и его разломную тектонику, региональная составляющая магнитного поля отображает латеральную магнитную неоднородность нижнего («базальтового») слоя земной коры. Вещество верхней мантии в аномальном магнитном поле не отражается в силу его индуктивного происхождения: при высоких температурах, соизмеримых с температурой точки Кюри, горные породы теряют магнитные свойства.

В процессе районирования аномального магнитного поля Вечернегорской площади выделены три региональные зоны: Северная, Центральная

и Южная, каждой из которых присущи своя морфологическая картина и специфическое магнитное поле (см. рис. 1). Все они имеют полосовой характер северо-западного простирания.

Карта районирования по геомагнитным данным в значительной мере отражает геологические особенности Вечернегорской площади по следующим геолого-геофизическим исследованиям по региональным маршрутам с отбором образцов горных пород (рис. 3). Образцы горных пород были проанализированы в лабораториях РУП «Белгеология» с петрографических, петрохимических и петрофизических позиций.



Рисунок 3 – Схема сопоставления Карты аномального магнитного поля и Карты размещения рудных объектов по О. В. Мясникову на Вечернегорской площади

На основании обобщения полевых структурно-тектонических наблюдений, петрографических, петрофизических и геохронологических данных на территории Вечернегорской площади выделены основные типы пород, соответствующих доминирующему, последовательно сменяющим друг друга, этапам тектонотермальной активизации. Как видим, структурное положение рудных зон, выделенных О. В. Мясниковым только по образцам горных пород, хорошо вписывается в структуру магнитного поля. Визуально рассмотренные соотношения аномалий магнитного поля с геологическими и тектоническими детальными и региональными данными свидетельствуют об отражении геолого-тектонических процессов в магнитном поле. Это дает основания применения их для построения геологической карты кристаллического фундамента Вечернегорской площади, используя известные и часто наблюдаемые там корреляционно-генетические соотношения магнитных полей с геолого-тектоническими характеристиками разреза земной коры [6].

По данным лабораторного петрографического анализа образцов горных пород Вечернегорской площади, основными минерагеническими рудогенерирующими и рудоконтролирующими формациями Вечернегорской площади являются гранитоиды чарнокитовой гнейсово-рапакивиподобной ультраметаморфической и эндербо-чарнокитоидная толщи. Все обнаруженные зоны рудной и нерудной

минерализации расположены либо в экзо-, либо в эндоконтакте с гранитоидами. Выделенные по петрофизическим и петрохимическим данным четыре типа горных пород (плагиогнейсы, чарнокиты, эндербит-чарнокиты и рапакивиподобные чарнокиты) находят отражение в магнитном поле.

Прогнозируемые металлические полезные ископаемые относятся к магматогенной и метаморфогенной (скарноидной) сериям. Магматогенные рудные выходы закартированы на горе Вечерняя, где они в приконтактовой зоне неопротерозойских гранитоидов с мезо-протерозойскими эндербо-чарнокитоидами образуют жилоподобные тела массивно-вкрашенных руд до 1 м видимой мощности и до 100 м по простиранию. Архейские биотит-двутироксеновые плагиогнейсы являютсярудо-вмещающей формацией для железо-титановых руд метаморфогенной (скарноидной) серии.

В районе мыса Рог руды сплошного типа образуют наклонно залегающие пластовые тела мощностью около 70 см. На мысах Гнездовой и Доступный это будинообразные мономинеральные и вкрашенные рудные скопления и концентрации со следами окисления. В обоих случаях на восток от проявлений рудной минерализации черных металлов отмечены участки с налетами и корочками гидроокислов меди. В районе мыса Гнездовой и у северного подножья сопки Рубин отмечается сульфидизация, представленная гнездами пирита до 2–3 см в поперечнике (рис. 4).

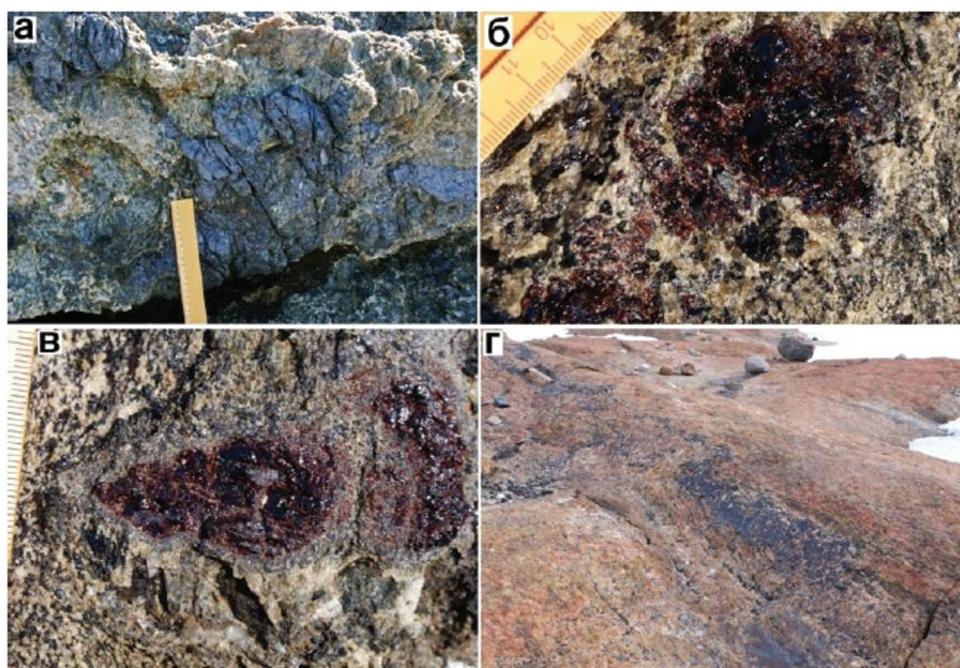


Рисунок 4 – Рудные жилы мыса Рог (а) и горы Вечерней (в);
кристаллы пиропов «Гнездовой» (б) и «Рубин» (г) минерализованных зон [8]

Архейские пластины выступают благоприятной средой для различного нерудного минералообразования. Их толща существенно минерализована, преимущественно в районе развития рапаки-виподобных чарнокитов (струйчатых мигматитов). Там встречены массивные скопления гранатов типа пироп, обладающих оптическими свойствами. Гранат присутствует в виде прослоев зернистых агрегатов до 30–50 см или отдельных сравнительно крупных кристаллов.

По результатам предварительного рекогносцировочного этапа представлена региональная модель разреза литосферы Земли Эндерби в районе Вечернегорской площади и станции Молодежная по слоям земной коры [2].

ДЕТАЛИЗАЦИОННЫЙ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЙ ЭТАП

В последний период при выполнении геолого-геофизических исследований по программе БАЭ-14 (2021–2022 гг., исполнитель А. А. Хаткевич) и БАЭ-15 (2022–2023 гг., исполнитель П. В. Шаблыко) работы ориентировались на оценку влияния геологических факторов на регистрируемые геофизические поля, для которых планируется:

1. Детализация проекта геодинамического полигона на основании изученных вариаций геомагнитного поля в районе расположения белорусской антарктической станции (Гора Вечерняя).

2. Проведение синхронных геомагнитных измерений на аномальных и разломных участках.

3. Проведение маршрутной радиометрической съемки на Вечернегорской площади с учетом данных за полевой сезон 2021–2022 гг.

4. Проведение площадной радиометрической съемки на Вечернегорской площади на выявленных аномальных участках.

5. Проведение маршрутной и площадной каппаметрической съемок на Вечернегорской площади с учетом данных за полевой сезон 2008–2009 гг.

6. Проведение второго этапа опытного полевого шлихового опробования на участке вблизи бухты Терпения.

Приборная база

Предварительные результаты геолого-геофизических исследований этого этапа в определенной степени уже освещены в печати [1; 3], однако материалы полевых работ БАЭ-15, поступившие в Беларусь в июне 2023 г., предстоит проанализировать, обобщить и учесть при планировании работ БАЭ-16 (2023–2024 гг.).

В ходе 15-й Белорусской антарктической экспедиции для работы были использованы:

1. Пешеходный Оверхаузерский магнитометр MMPOS-1 (Лаборатория Квантовой Магнитометрии, Екатеринбург, Россия). Данный магнитометр предназначен для измерения модуля геомагнитного поля и может использоваться как для проведения пешеходных съемок, так и в качестве стационарной вариационной станции. Диапазон измерения магнитного поля: 20 000–100 000 нТл. Среднеквадратичная погрешность измерения <0,01 нТл (для цикла 3 с).

2. Прибор сцинтилляционный геологоразведочный СРП-68-01 (Россия). Предназначен для измерения гамма-излучения на поверхности пород и в горных выработках. Измерения гамма-излучения производятся в мкР/ч.

3. Гексокоптер A20-Хи, квадрокоптер DJIMini для проведения фото-, видеосъемки и построения ортофотоплана местности.

4. GPS-навигатор GARMINGPSmap78.

Проведение магнитометрических исследований

Магнитометрические наблюдения выполнялись в период с декабря 2022 г. по март 2023 г. на территории Вечернегорской площади.

В сезон 2021–2022 гг. на предполагаемом участке для немагнитного павильона была установлена немагнитная тумба для стационарных магнитометрических исследований, которая в сезон БАЭ-15 успешно введена в эксплуатацию (см. рис. 3).

Тумба установлена на участке, представляющем собой относительно ровную площадку на скальном массиве на окраине полевой базы «Гора Вечерняя» между метеоплощадкой и инсениаторной установкой, на удалении около 50 м от ближайших техногенных объектов, в точке с координатами S 67°33'34,2"E046°09'01,9".

Магнитометрические наблюдения проводились синхронно, на участках с наиболее ярко выраженными аномальными зонами, участках разломов с установленной сдвиговой кинематикой и на немагнитной тумбе, с помощью двух магнитометров типа MMPOS-1. Установка магнитометров проводилась на всех ключевых зонах Вечернегорской территории (сопка Рубин, мыс Без названия, морской припайный лед в бухте Лазурная, мыс Доступный, мыс Гнездовой). Такие наблюдения проводились в течение не менее 24 ч на каждой точке (рис. 5). Все точки наблюдений были привязаны с помощью GPS.

В районе установленной немагнитной тумбы были проведены краткосрочные вариационные измерения для изучений короткопериодных вариаций магнитного поля. Наблюдения проводились на территории 50×50 м вокруг тумбы, с шагом 1–2 м.



Рисунок 5 – Немагнітна тумба с установленним MMPOS-1 (март 2023 г.)

В період с 18.02.2023 по 03.03.2023 на немагнітній тумбі проводились непрерывні (исключая техніческіе отключения до 10 мин, 1 раз в сутки, для смены элементов питания) суточные вариационные измерения с периодичностью измерений в 20 с.

Выбор обоснованного участка установки немагнитной тумбы является промежуточным этапом антарктических геофизических исследований с перспективой создания на этой базе немагнитного геофизического полигона.

Радиометрические исследования

Маршрутные радиометрические полевые работы проводились на территории Вечернегорской площади, в крест простирания блоков кристаллических пород с помощью радиометра СРП-68-01 (рис. 6). На участках с наиболее аномальными зна-

чениями радиоактивного поля была произведена площадная съемка с шагом 25 м. Было произведено 90 замеров на участках с разными типами пород. Зафиксированы радиометрические аномалии до 265 мкР/ч связанные с концентрированными участками, представленными калиевыми полевыми шпатами. Среднее значение пород Вечернегорской площади составляет 10–20 мкР/ч. Каждая точка наблюдения сопровождалась фотофиксацией и привязкой к GPS-координатам.

Полученные данные радиометрических исследований позволяют уточнить геологическое строение территории и ее мирагенический потенциал. Связь аномальных зон радиоактивного и магнитного полей с тектоническими структурами позволяет более четко определить границы тектонических структур.



Рисунок 6 – Измерения с помощью радиометра СРП-68-01 (2023 г.)

Каппаметрия

Для каппаметрических исследований был произведен выборочный отбор проб из пород коренного залегания, опробуя разные типы пород (Граниты, гнейсы, чарнокиты, эндербиты и др., рис. 7). На раз-

ных участках Вечернегорской площади отобрано 22 геологических образца весом от 1 до 3 кг. Маршруты были заложены в крест простирания блоков кристаллических пород, учитывая геологическую открытость территории и ее проходимость.



Рисунок 7 – Вечернегорская площадь. Отбор образцов скальных пород в период БАЭ-15

Каждый образец привязан с помощью GPS-приемника Garmin, сфотографирован и помещен в отдельный тканевый мешочек для дальнейшего лабораторного исследования.

Пробы горных пород, отобранные на участках каппаметрических исследований, после их лабораторных исследований позволяют более точно определить железо-титановую мирагению горных пород и, как следствие, влияние ее на геофизические параметры участка.

Шлиховое опробование

Для шлихового опробования в период БАЭ-15 на участках временных водотоков были отобраны 32 геологические пробы с шагом отбора 50–100 м. Вес каждой пробы составляет от 2 до 4 кг. Каждый образец привязан с помощью GPS-приемника Garmin, сфотографирован и помещен в отдельный тканевый мешочек для дальнейшего лабораторного исследования (рис. 8).

Данные шлихового опробования позволяют уточнить характер сноса обломочного материала, а также перспективы Вечернегорской площади

на проявление различных видов твердых полезных ископаемых по шлиховому опробованию.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БАЭ-14 И БАЭ-15

Геофизические исследования

В точке размещения стационарного магнитометра было выполнено более 10 суточных наблюдений и 25 короткопериодных наблюдений с периодичностью измерений в 20 с для понимания как ведет себя магнитное поле в течение суток. На Вечернегорской площади был выполнен ряд суточных наблюдений за вариациями компонент геомагнитного поля с шагом замеров 20 с. После обработки данных и построения графиков изменения потока Т была проведена корреляция данных с ближайшей австралийской антарктической станцией «Моусон», которая является участником мировой системы ИНТЕРМАГЕНТ (INTERMAGENT – Международная сеть магнитных обсерваторий реального времени) – всемирного консорциума институтов, занимающихся записью данных наземных магнитометров.



Рисунок 8 – Вечернегорская площадь. Отбор образцов на участках шлихового опробования

Установлена четкая времененная корреляция синхронного изменения магнитного поля на Вечернегорской площади и на станции «Моусон». Первоначальный анализ данных указывает на существенное изменение магнитного поля в ночные часы по всем дням измерений в промежуток с 20.00 до 03.00 по всемирному координированному времени (ИТС). Наибольшие вариации магнитного поля в течение дня в некоторых случаях имеют прямую связь с магнитными бурями.

Короткопериодные вариации. Как известно, короткопериодные колебания геомагнитного поля (КПКМП) – это геомагнитные пульсации, харак-

теризующиеся квазипериодической структурой, занимая диапазон частот от тысячных долей герца до нескольких герц. В зарубежной литературе в настоящее время для обозначения этих колебаний часто используется термин ULF-wave (ultra-low-frequency). По физической природе геомагнитные пульсации – это геомагнитные волны, возбуждаемые в магнитосфере Земли и в солнечном ветре.

В ходе сезона 2020–2021 гг. на территории Вечернегорской площади был выполнен ряд коротко-периодных наблюдений за поведением магнитного поля. Наблюдения в основном проводились в периоды с 9.00 до 12.00 и с 14.00 до 17.00 (рис. 9).

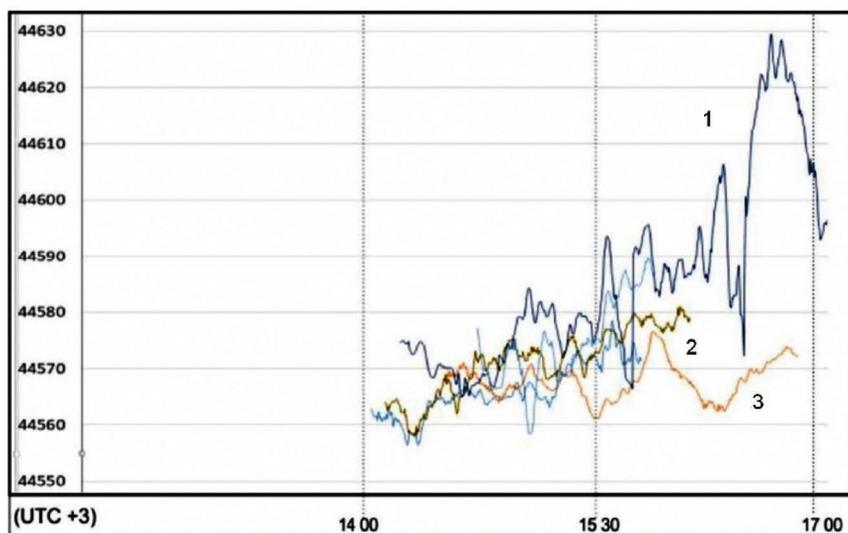


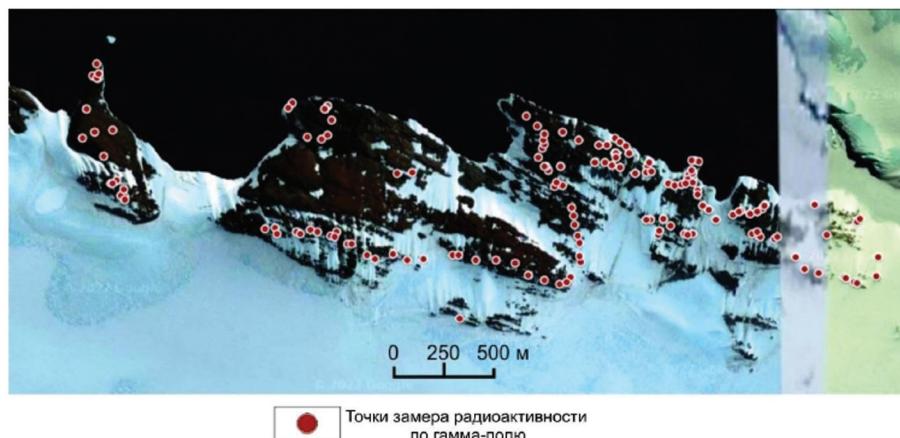
Рисунок 9 – Вечернегорская площадь. Короткопериодные вариации поля Т в вечерние часы (январь – февраль 2021 г.)

Результаты радиометрических исследований

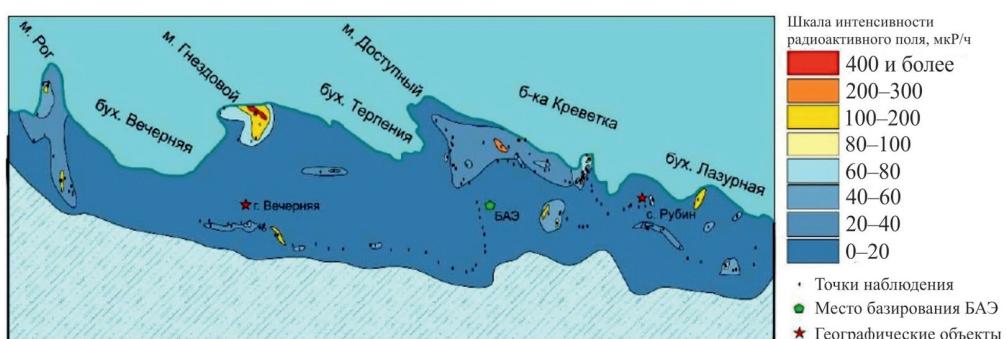
Последующей обработкой полевых данных составлена предварительная картосхема фактических точек замера с увязкой их с геологическим участком по фотодокументации (рис. 10).

Повышенное значение радиоактивного поля зачастую непосредственно связано с выходами архей-

ских пород, богатых на частые включения калиевых полевых шпатов. Значение интенсивности радиоактивного поля достигает в некоторых случаях 200–300 мкР/ч и более, в среднем 60–100 мкР/ч (рис. 11).



**Рисунок 10 – Вечернегорская площадь.
Схема радиометрической съемки (январь – март 2022 г.)**



**Рисунок 11 – Вечернегорская площадь.
Радиометрическая карта по данным сезона 2021–2022 гг.**

Результаты по шлиховому опробованию

Минералогический анализ заключается в изучении всех выделенных фракций под бинокулярным микроскопом (бинокуляром). Минералы определяют по внешнему виду, плотности, оптическим и химическим свойствам. Большую помощь при определении минералов оказывает сравнение их с коллекцией заведомо известных минералов шлихов. Существует несколько видов минералогического анализа:

- качественный – определяется только качественный состав шлиха без подсчета процентного содержания минералов;

- сокращенный – определяются один-два минерала. В данном случае общая схема анализа сокращается и изучается только та фракция, в которой концентрируется полезный минерал (например, при

определении золота изучается только немагнитная фракция, при определении вольфрамита – только электромагнитная);

- количественный – определяется примерное процентное содержание минералов в различных фракциях. Учитывая количественную характеристику шлиха (массу промытой породы, массу шлиха и выделенных фракций, процентное содержание минералов во фракциях), можно определить примерное содержание минерала в породе. Содержание ценных промышленных минералов в россыпях принято вычислять в г/т или г/м³ промытой породы.

Здесь приведен качественный минералогический анализ шлиха с учетом дальнейших планируемых более детальных геохимических лабораторных работ.

Ниже представлены фотографии распространенных минералов и их ассоциаций на участках I и II.

Произведено шлиховое опробование двух перспективных участков с целью уточнения контуров распространения литохимических ореолов железотитановой минерализации Вечернегорской структуры с выполнением первоначальной обработки материала на местах пробоотбора (отделение и описание крупных фракций).

Как видно из рисунка 12, для участков I и II характерны две области сноса, практически изоли-

рованные друг от друга. Следует отметить что для зоны I характерно меньшее содержание глинистых частиц по сравнению с зоной II. По-видимому, это объясняется различием в силе водных потоков, а также неравномерной расчлененностью и общим уклоном рельефа в сторону океана.

Вышеупомянутые различия подтверждаются разными показателями соотношения магнитной и немагнитной фракций серого шлиха (рис. 13).

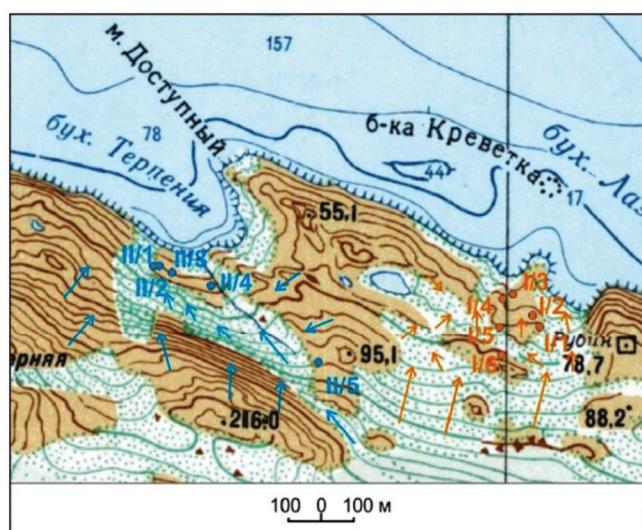


Рисунок 12 – Вечернегорская площадь.
Карта отбора образцов на участке шлихового опробования.
Стрелочками указаны направления сноса обломочного материала

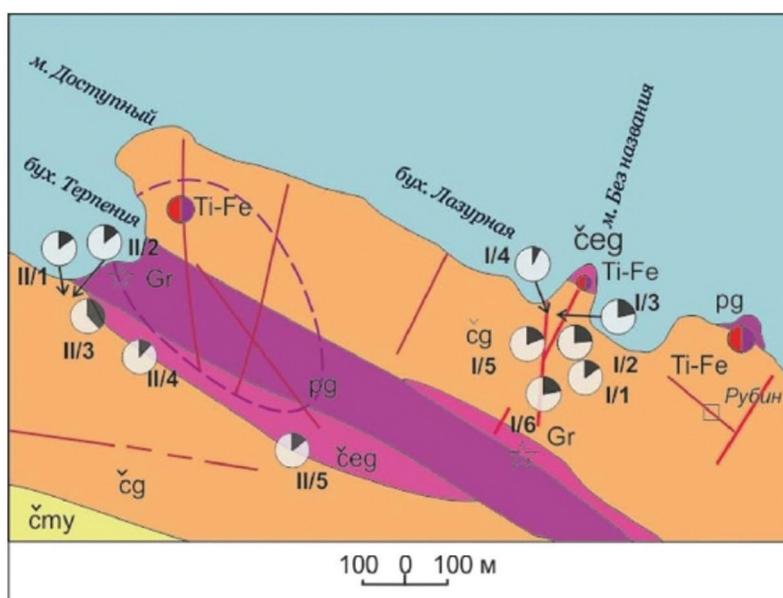


Рисунок 13 – Вечернегорская площадь.
Карта шлихового опробования двух опытных участков

На рисунке 14 приведено соотношение распределения магнитной и немагнитной фракций минералов в пробах участков I и II. Диаграммы указывают на процентное содержание магнитной фракции. На участке I в пробе 3 магнитная фракция составляет 21 %, а на участке II в пробе 3 содержание маг-

нитной фракции значительно выше и составляет 37 %, что может свидетельствовать о расположении участка II к более высокорудному объекту.

По результатам изучения шлиховых проб под бинокулярным микроскопом установлена серия минеральных ассоциаций (рис. 15).



Рисунок 14 – Вечернегорская площадь. Распределение фракций в шлиховых пробах



Рисунок 15 – Вечернегорская площадь. Минералы шлиховых проб в бинокуляре, увеличение в 10 раз:
1 – гранат, эпидот, ильменит; 2 – эпидот, гранат, пирротин; 3 – гранат, пирротин, ильменит

После проведения комплекса полевых и лабораторных работ, обобщения фактического материала были составлены карты отбора проб с учетом рельефа земной поверхности для определения областей сноса материала, а также непосредственно карты шлихового опробования по железорудному компоненту (магнитная и немагнитная фракции).

Как видно из рисунка, участки I и II заложены в местах различных по составу горных пород, что подтверждается разнообразным минеральным составом шлиха. Участок I характеризуется относительно неоднородным содержанием магнитной фракции (16–24 %, одна проба 9 %), показатели участка II варьируются в пределах 13–17 % (одна проба 33 %). Источником железорудных компонентов для данных районов, по-видимому, служат чарнокитизированные эндербиты и плагиогнейсы, которые характеризуются относительно повышенным содержанием рудных магнитных минералов.

МИНЕРАЛО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВЕЧЕРНЕГОРСКОЙ ПЛОЩАДИ

Работы по дополнительному отбору образцов на участках детальных геофизических работ на Вечернегорской площади проводились м. н. с. Института природопользования НАН Беларуси Шаблыко Павлом Викентьевичем в период 2017–2018 гг. в рамках IX Антарктической экспедиции Национальной академии наук Беларуси. Отбор коренных образцов производился на трех основных участках: близ мыса Гнездового, мыса Доступного, а также близ горы Рубин. Точки отбора характеризуются прежде всего довольно близким расположением относительно друг друга и приуроченностью к выполненным магнитометрическим маршрутам, так как выполнялись совместно (рис. 16).

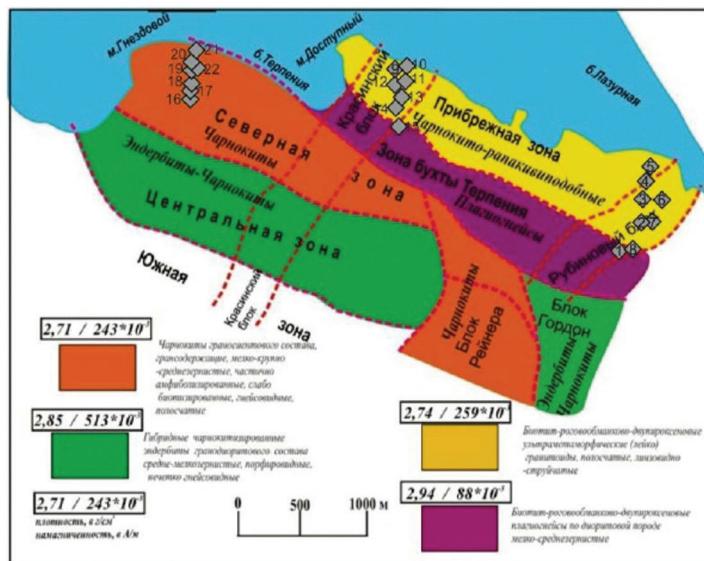


Рисунок 16 – Распределение точек отбора по площади на карте вещественного состава фундамента Вечернегорской площади (по Г. И. Карагаеву)

Всего исполнителем работ было отобрано и доставлено в Республику Беларусь 22 образца горных пород коренного залегания. Из них впоследствии в Научно-производственном центре по геологии подготовлены и изучены шлифы.

Начальником отдела филиала «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ по геологии» кандидатом геолого-минералогических наук М. П. Гуринович, а также научным сотрудником О. А. Пискуном были проведены макро и микроскопические исследования шлифов и дана полная минералого-петрографическая характеристика всех

исследуемых образцов. Ниже приводится выборочное описание определения минерального состава части анализируемых пород (образцы № 1, 14 и 19).

Образец № 1 (рис. 17). Макроскопическое описание: массивная сильно выветрелая порода светло-розоватого цвета. Структура неравномернозернистая, грубо-крупнозернистая, участками слегка порфировидная за счет более крупных выделений полевых шпатов. Присутствуют скопления темно-цветных минералов и кварца, также наблюдаются небольшие пустоты размером 1–2 см, заполненные кристаллами кварца серого цвета.

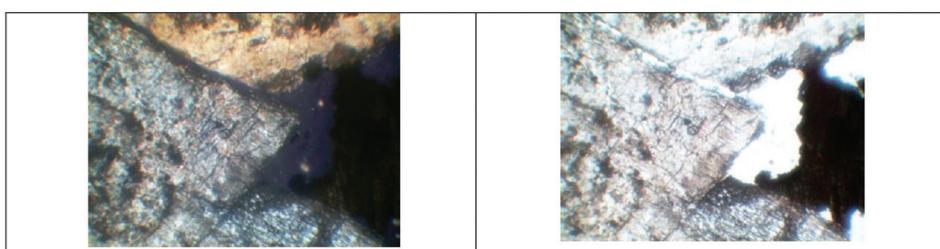


Рисунок 17 – Образец № 1 – гранит биотитовый (слева – с анализатором, справа – без анализатора); размер видимого поля шлифа 3,0×2,5 мм

Микроскопическое описание. Название породы (уточненное): **гранит биотитовый выветрелый**. Текстура породы массивная. Структура гипидоморфнозернистая грубо-крупнозернистая, участками порфировидная.

Минеральный состав:

полевые шпаты – 60–70 %;
кварц – 10–15 %;
биотит – 1–10 %;

пеллит-серіцитовий матеріал – 10–15 %;
рудний мінерал – пылевидні зерна.

Полевые шпаты наблюдаются в виде таблитчатых и неправильной формы зерен размером от 4,0–5,0 до 7,0–10,0 мм (в шлифе). Ввиду высокой степени выветривания отличить калиевый полевой шпат невозможно. Плагиоклаз можно определить только по наличию слабо просматриваемых полисинтетических двойников. Все полевые шпаты сильно выветрелые,

по ним развивается пелит-серицитовый материал в большом количестве. Все зерна сильно трещиноваты.

Кварц представлен неправильно-ovalьными зернами размером 2,5–7,0 мм при преобладании зерен размерностью 5,0–6,0 мм, иногда слагающими агрегативные скопления. Зерна сильно трещиноваты.

Биотит присутствует в породе в виде беспорядочно рассеянных чешуек размером 1,5–2,5 мм. Плеохроизм практически отсутствует, цвет темно-коричневый, почти черный. В образце часто образует скопления с кварцом.

Рудный минерал представлен пылевидными зернами магнетита черного цвета, распространенными по всем зернам в незначительном количестве.

Образец № 14 (рис. 18). Макроскопическое описание: мелко-среднезернистая порода розовато-серого цвета. Порода представляет собой чередование светлоокрашенных и темноокрашенных прослоев, придающих породе полосчатую текстуру. На спиле отмечается наличие порфиробластовых выделений бледно-розового калиевого полевого шпата окружной и линзовидной формы.

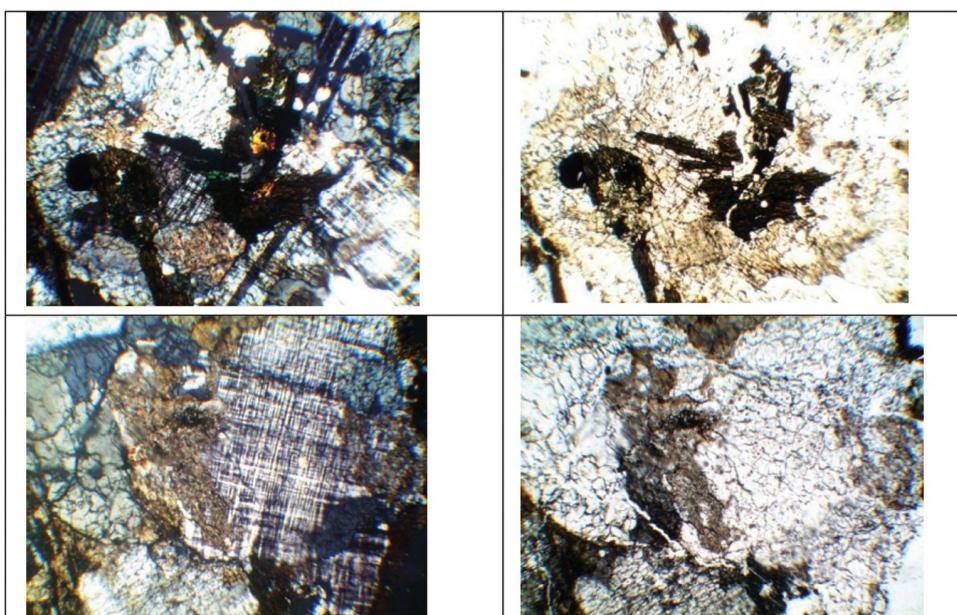


Рисунок 18 – Образец № 14 – Гранитогнейс (мигматит)
(слева – с анализатором, справа – без анализатора); размер видимого поля шлифа 3,0×2,5 мм

Микроскопическое описание. Название породы (уточненное): **гранитогнейс (мигматит)**. Текстура породы полосчатая. Структура порфиробластовая.

Минеральный состав:

калиевый полевой шпат – 35–45 %;

плагиоклаз – 30–35 %;

биотит – 10–15 %;

кварц – 15–20 %;

рудный минерал – <1 %;

эпидот – 1 %;

сфен – <1 %;

циркон – <1 %;

вторичные минералы – серицит-пелитовый материал.

Калиевый полевой шпат представлен микроклином. Это образования неправильнотаблитчайской формы с четким решетчатым строением. Размер их не превышает 2,0–2,5 мм (в шлифах). Сильно трещиноват и замещен вторичными минералами.

Плагиоклаз – олигоклаз-андезин. Формирует таблитчатые, чаще неправильнотаблитчатые зерна.

Размер отдельных индивидов варьирует от 0,3–0,5 до 2,0–2,5 мм. Часть зерен сильно затронуты вторичными изменениями и замещены пелитом, серицитом и эпидотом. Полисинтетические двойники наблюдаются лишь в зернах, менее затронутых изменениями.

Биотит представлен мелкими чешуйками, размер которых варьирует от 0,1–0,2 до 0,5–0,6 мм. Плеохроирует от буровато-коричневого по Nr до темно-бурого, почти черного цвета по Ng. По породе распределен неравномерно, образуя ассоциации с рудными и акцессорными минералами.

Кварц формирует трещиноватые бесформенные зерна размером от мельчайших включений до 1,5–2,0 мм. Встречен как одиночными зернами в интерстициях полевых шпатов либо включений в них, так и довольно крупными скоплениями.

Рудный минерал представлен магнетитом. Формирует зерна неправильной формы размером до 0,2–0,3 мм в ассоциации с биотитом.

Эпидот представлен зернами бледно-зеленого цвета, формирующими небольшие скопления

из мелких 0,1–0,2 мм комковатых зерен. Реже встречаются индивиды до 1,0 мм. Чаще наблюдается в ассоциации с биотитом, но также развивается по плагиоклазу.

Сфен встречен в виде буровато-коричневых зерен неправильной, комковатой формы размером до 0,5 мм. Выделения наблюдаются в ассоциации с биотитом и эпидотом.

Циркон присутствует в виде единичных округлых зерен, включенных в биотит, размером до 0,1 мм.

Образец № 19 (рис. 19). Макроскопическое описание: изучаемый образец представляет собой мелко-среднезернистую грубополосчатую породу зеленовато-серого цвета. Полосы различного состава не параллельны и не выдержаны по мощности, местами расщепляются и меняют направление. Более светлые полосы сложены гранитным компонентом, более темные соответствуют амфибол-биотитовому гнейсу.

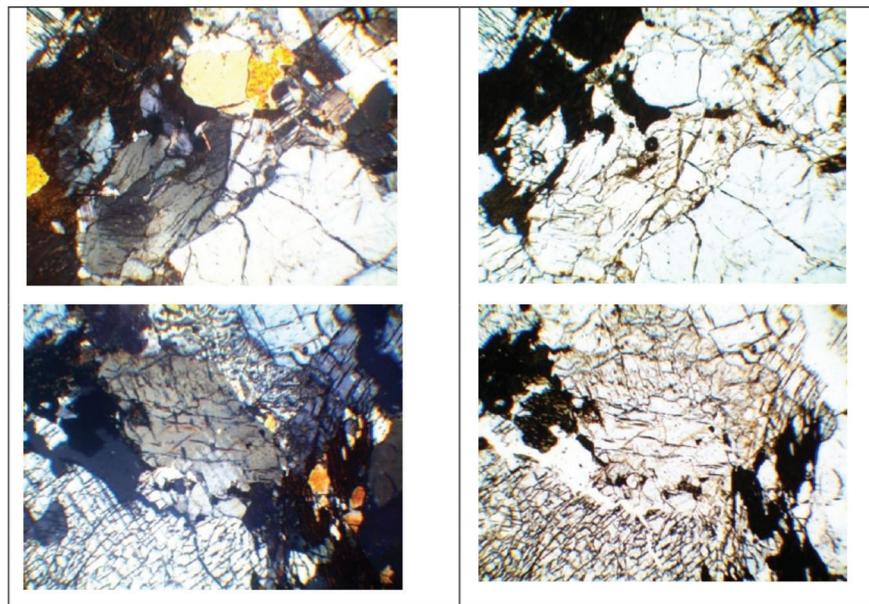


Рисунок 19 – Образец № 19 – Гранитогнейс (слева – с анализатором, справа – без анализатора);
размер видимого поля шлифа 3,0×2,5 мм

Микроскопическое описание. Название породы (уточненное): **гранитогнейс (мigmatит)**. Текстура породы грубополосчатая. Структура гетеробластовая.

Минеральный состав:

калиевый полевой шпат – 35–45 %;
плагиоклаз – 30–35 %;
кварц – 15–20 %;
биотит – 10–12 %;
амфибол – 10–12 %;
рудный минерал – <1 %;
акцессорные минералы – <1 %;
вторичные минералы – серицит-пелитовый материал.

Калиевый полевой шпат представлен микроклин-перитом (ортоклаз-перитом). Образует зерна неправильнотаблитчатой и неправильной формы размером до 2,5–3,0 мм (в шлифах). Трециноват и слегка замутнен вторичными минералами. Периты представляют собой тонкие игольчатые включения, часто распространенные не равномерно.

Плагиоклаз – олигоклаз-андезин. Формирует таблитчатые и неправильнотаблитчатые зерна. Размер

отдельных индивидов варьирует от 0,3–0,5 до 2,0–2,5 мм. Трециноваты и замещены пелитом и серицитом. Полисинтетические двойники наблюдаются лишь в зернах, менее затронутых изменениями. В некоторых зернах наблюдаются антиперитты. Также на контакте с КПШ местами наблюдаются обильные мирамекиты.

Кварц формирует трециноватые зерна неправильной, иногда округлой формы размером от мельчайших включений до 1,5–2,0 мм. Формирует как одиночные включения, так и небольшие скопления в виде линз. Образует мирамекитовые вростки в плагиоклазе.

Биотит наблюдается в виде некрупных чешуек буровато-коричневого цвета, размер которых варьирует от 0,1–0,2 до 0,5–0,6 мм. По породе распространен неравномерно, образуя скопления с роговой обманкой. Местами содержит мелкие включения рудных и акцессорных минералов и замещается бледно-зеленым хлоритом.

Амфибол – роговая обманка. Наблюдается в виде неправильнопризматических и неправильных зерен зеленовато-бурового цвета. Размер отдельных индивидов

не превышает 1,5–2,0 мм. Чаще всего наблюдается в совместных срастаниях с биотитом.

Рудный минерал представлен редкими неправильными зернами магнетита размером до 0,2–0,3 мм в ассоциации с темноцветными минералами.

Анатит формирует прозрачные округлые зерна размером до 0,2–0,3 мм, ассоциирующие с темноцветными минералами.

Циркон наблюдается в виде единичных округлых, частично идиоморфных зерен размером до 0,2 мм в ассоциации с темноцветными минералами.

Полученные данные по сравнительной характеристике микро- и макроописания горных пород (табл. 1) и минералого-петрографическим исследованиям обобщены в таблице 2.3.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика микро- и макроописания горных пород Вечернегорской площади

№ образца	Макроскопическое описание	Микроскопическое описание
1	Массивная выветрелая порода светло-розового цвета	Гранит биотитовый выветрелый
2	Полосчатая порода	Гранитогнейс биотит-амфиболовый
4	Массивная выветрелая порода	Гранит
6	Гнейсовидная порода коричневого цвета	Гранитогнейс биотит-амфиболовый
7	Гнейсовидная порода бежево-розоватого цвета	Гранитогнейс биотитовый (пигматит)
8	Гнейсовидная порода	Гранитогнейс биотитовый
9	Гнейсовидная порода бежево-коричневого цвета	Гранитогнейс биотит-амфиболовый
11	Крупнозернистая порода	Гранит биотитовый
12	Крупнозернистая выветрелая порода	Монцонит амфибол-биотитовый
13	Крупно- и среднезернистая массивная выветрелая порода	Монцонит амфибол-биотитовый
14	Мелко- среднезернистая порода	Гранитогнейс (мигматит)
15	Сочетание мелко- и среднезернистой породы и гранита	Гранитогнейс (мигматит)
16	Крупнозернистая порода зеленовато-серого цвета	Гранит
18	Сочетание гнейса и крупнозернистого гранита	Гранит
19	Мелко- и среднезернистая порода	Гранитогнейс (мигматит)
20	Мелко- и среднезернистая грубополосчатая порода	Гранитогнейс (мигматит)

Таблица 2 – Минералого-петрографическая характеристика образцов горных пород Вечернегорской площади за сезон 2017–2018 гг.

№ пробы	Калиевые полевые шпаты	Кварц	Плагиоклаз	Амфибол	Биотит	Вторичные минералы
1	60–70 %	10–15 %	–	–	1–10 %	10–15 %
2	–	10–15 %	40–50 %	10–15 %	5–7 %	1–5 %
4	60–70 %	10–20 %	5–10 %	–	–	1–5 %
5	<1 %	5–10 %	55–60 %	10–15 %	5–10 %	1–5 %
6	5–10 %	5–10 %	55–60 %	15–20 %	1–5 %	3–5 %
7	5–10 %	5–10 %	55–60 %	–	20–25 %	1–5 %
8	10–15 %	10–15 %	45–50 %	–	20–25 %	1–5 %
9	5–10 %	10–15 %	50–55 %	10–15 %	3–5 %	1–5 %
11	50–55 %	20–25 %	15–20 %	–	15–20 %	1–5 %
12	35–40 %	5–7 %	30–40 %	5–7 %	10–12 %	2–5 %
13	30–35 %	1–2 %	35–45 %	10–15 %	10–15 %	1–5 %
14	35–45 %	15–20 %	30–35 %	–	10–15 %	1–5 %
15	35–45 %	15–20 %	30–35 %	10–12 %	10–12 %	1–5 %
16	30–35 %	20–25 %	30–35 %	–	5 %	1–5 %
18	30–35 %	20–25 %	35–40 %	–	5–10 %	1–5 %
19	35–45 %	15–20 %	30–35 %	10–12 %	10–12 %	2–5 %
20	20–25 %	15–20 %	30–35 %	–	20–25 %	1–5 %

На всех трех изученных участках породы представлены преимущественно гранитогнейсами, гранитами и монцонитами. Характеризуются в большинстве своем однородным составом, за исключением единичных образцов.

Петрографическое определение пород вместе с полученными петрофизическими характеристиками будут являться базой для дальнейшего направления геолого-геофизических исследований Вечернегорской площади.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам геолого-геофизических работ, выполненных в период исследования БАЭ-14 и БАЭ-15 в 2021–2023 гг., получены следующие основные результаты:

– проведена геомагнитная съемка и обобщение полученных данных на участке проектирования немагнитного павильона для создания и детализации проекта геодинамического полигона. Интерпретация краткопериодных и суточных вариаций геофизических полей и имеющихся геологических данных позволит учесть эффект воздействия регистрируемого природного геомагнитного поля на методику интерпретации полевых геомагнитных исследований;

– рекогносцировочные радиометрические исследования участка выхода горных пород пешеходной радиометрической съемкой с регистрацией гамма-поля радиометром СРП-68-01 свидетельствует о широком диапазоне изменения гамма-поля, изменяющегося от среднефоновых 20–30 мкР/ч до повышенных значений, составляющих 50–70 мкР/ч и участков с аномальными значениями гамма-излучения, составляющими 250–300 мкР/ч. Аномальные

значения радиоактивности приурочены к выходу на поверхность пород древнего архейского возраста, богатых на радиоактивные элементы. Для исследования природы естественной радиоактивности планируется выполнить спектральную съемку и лабораторные изучения горных пород;

– выполнено впервые в полярных условиях рекогносцировочно-опытное исследование по шлиховой съемке на двух опытных участках Вечернегорской площади с отбором и первичной полевой обработкой 36 образцов горных пород.

Дальнейшими лабораторными работами в стационарных условиях по промывке, доводке шлиховой пробы для анализа установлены значительные концентрации железорудных материалов практически во всех образцах. На составленных картах намечены пути сноса обломочных пород по участкам временных водотоков.

Установлено разноплановое соотношение в пробах магнитной фракции пород, определяющее расположение участка исследования к более высокорудному объекту;

– по результатам серии образцов горных пород по макроскопическим, микроскопическим описаниям и исследованию шлифов установлена представленность горных пород преимущественно гранитогнейсами, гранитами, монцонитом амфибол-биотитовым, содержащими калиевые полевые шпаты (30–70 %), кварц (5–25 %), плагиоклаз (15–40 %), биотит (10–25 %), вторичные минералы (не более 5 %).

Выполняемые в последний этап работ на Вечернегорской площади детализационные геологические исследования позволяют более уверенно использовать, интерпретировать и увязывать результаты геофизических исследований с особенностями геологических условий региона исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гарецкий, Р. Г. Геологическое строение земной коры в районе Вечернегорской площади в Восточной Антарктиде / Р. Г. Гарецкий, Я. Г. Грибик, Г. И. Карапаев // Природная среда Антарктики: междисциплинарные подходы к изучению : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию Государственного учреждения «Республиканский центр полярных исследований», Домжерицы, 21–23 сент. 2022 г. / редкол.: В. Ф. Логинов [и др.]. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 66–69.
2. Гарецкий, Р. Г. Глубинное строение и тектоника Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев // Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций : материалы 1-й Междунар. науч.-практ. конф., г. п. Нарочь, Беларусь, 26–29 мая 2014 г. – Минск : Экоперспектива, 2014. – С. 41–46.
3. Гарецкий, Р. Г. Полярные геолого-геофизические изыскания на Земле Эндерби / Р. Г. Гарецкий, П. В. Шаблыко, Я. Г. Грибик // Наука и инновации. – 2023. – № 6 (244). – С. 33–38.
4. Карапаев, Г. И. Методика построения физико-геологического разреза по комплексу геофизических полей / Г. И. Карапаев, С. В. Голобоков // Літасфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 74–84.
5. Карапаев, Г. И. Рекогносцировочные геофизические исследования Белорусской антарктической экспедиции 2008/2009 годов / Г. И. Карапаев, О. В. Мясников // Літасфера. – 2010. – № 1 (32). – С. 111–115.

6. **Каратаев, Г. И.** Физико-геологические модели земной коры Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Г. И. Каратаев, Т. В. Венцелидес, С. В. Голобоков // Современное состояние наук о Земле : материалы междунар. конф., посвященной памяти Виктора Ефимовича Хaina, Москва, 1–4 февр. 2011 г. – М. : Геологический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 2011. – С. 830–834.
7. **Михальский, Е. В.** Чарнокиты Восточной Антарктиды и их геологическая типизация / Е. В. Михальский, Дж. Шератон, Н. В. Владыкин // Докл. РАН. – 2006. – Т. 408, № 4. – С. 523–527.
8. **Мясников, О. В.** Геология и гидрография участка гора Вечерняя (холмы Тала) / О. В. Мясников // Научные результаты геолого-геофизических исследований в Антарктиде. – Вып. 3. – СПб. : ФГУП «ВНИИ Океанология», 2011. – С. 37–59.
9. **Особенности** выполнения полевых геолого-геофизических исследований в антарктических условиях / П. В. Шаблыко [и др.] // Природная среда Антарктики: междисциплинарные подходы к изучению : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию Государственного учреждения «Республиканский центр полярных исследований», Домжерицы, 21–23 сент. 2022 г. / редкол.: В. Ф. Логинов [и др.]. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 260–263.
10. **Результаты** геолого-геофизических исследований на Вечернегорской площади в Восточной Антарктике с учетом данных нового полевого сезона 2021–2022 гг. / П. В. Шаблыко [и др.] // Природная среда Антарктики: междисциплинарные подходы к изучению : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию Государственного учреждения «Республиканский центр полярных исследований», Домжерицы, 21–23 сент. 2022 г. / редкол.: В. Ф. Логинов [и др.]. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 264–268.
11. **Тектоническое** районирование фундамента Земли Эндерби (Восточная Антарктида) / Р. Г. Гарецкий [и др.] // Современное состояние наук о Земле : материалы междунар. конф., посвященной памяти Виктора Ефимовича Хaina, Москва, 1–4 февр. 2011 г. – М. : Геологический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 2011. – С. 824–829.
12. Grew, E. S. Geochronologic studies in east Antarctica: ages of rocks at Reindahl Hills and Molodezhnaya Station / E. S. Grew, W. I. Manton // Antarctic Journal of the United States. – 1981. – V. 16, № 5. – P. 5–7.
13. Grew, E. S. Precambrian basement at Molodezhnaya Station, East Antarctica / E. S. Grew // Geological Society of America Bulletin. – 1978. – V. 89. – P. 801–813.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 10.08.2023

Рэцензент У. І. Зуй

ВЫНІКІ ГЕОЛАГА-ГЕАФІЗІЧНЫХ ДАСЛЕДАВАННЯЎ ЗЯМЛІ ЭНДЭРБІ (АНТАРКТЫДА) У 2021–2023 гг.

Я. Г. Грыбік¹, Р. Г. Гарэцкі¹, Р. Э. Гірын¹, П. У. Шаблыка¹, С. Л. Сушкевіч¹,
М. П. Гурыновіч², І. Л. Коласаў²

¹Інстытут прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі
вул. Ф. Скарыны, 10, 220076, Мінск, Беларусь

E-mail: yaroslavgribik@tut.by

²Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь

У артыкуле прыведзены вынікі геолага-геафізічных даследаванняў Беларускай антарктычнай экспедыцыі (БАЭ) 14 і 15, выкананых у перыяд палявых работ у 2021–2023 гг. Папярэднімі геолага-геафізічнымі працамі, выкананымі ў перыяд рэалізацыі праектаў БАЭ-1–БАЭ-10, выкананы агульныя геалагічныя і геафізічныя даследаванні ў даступных месцах Вячэрнягорскай плошчы. Аналізаваны цяперашні этап, які выконваецца ў апошнія гады, пашыраны комплексам даследаванняў, які ўключае радыёметрычную здымку, каппаметрычныя даследаванні, шліхавае апрабаванне абломковых парод, па дадзеных якіх пабудаваны карты радыёметрычнай здымкі, шліхавога апрабавання, каппаметрычнай здымкі. Па выніках аналізу магнітнай і немагнітнай фракцыі проб шліхавай здымкі ўстаноўлены разнапланавыя мінеральныя асацыяцыі. Па макра- і мікраскалічным аналізе шліфаў вызначаны мінеральны склад горных парод. Даследаванні гэтага перыяду вывучэння Вячэрнягорскай плошчы дазволяюць пашырыць спектр геолага-геафізічных даследаванняў.

Ключавыя слова: Вячэрнягорская плошча, радыёметрычная здымка, шліхавае апрабаванне, петраграфічны склад, мінеральны склад, гама-актыўнасць, гранітагнейс.

RESULTS OF GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL STUDIES OF ENDERBY LAND (ANTARCTICA) IN 2021–2023

Ya. Gribik¹, R. Garetsky¹, R. Girin¹, P. Shablyko¹, S. Sushkevich¹, M. Gurinovich², I. Kolosov²

¹Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus
10 F. Skorina St, 220076, Minsk, Belarus
E-mail: yaroslavgribik@tut.by

²State Enterprise «Research and Production Center for Geology»
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus

The article presents the results of geological and geophysical studies of the Belarusian Antarctic Expedition (BAE) 14 and 15, carried out during the field work in 2021–2023. The previous geological and geophysical works carried out during the implementation of the BAE-1–BAE-10 projects carried out general geological and geophysical studies in accessible areas of the Vechernegorskaya area. The analyzed present stage, which has been carried out in recent years, has been expanded by a set of studies, including radiometric survey, kappametric studies, heavy mineral concentrate sampling of clastic rocks, according to which maps of radiometric surveys, heavy mineral concentrate sampling, and kappametric surveys have been built. According to the results of the analysis of the magnetic and non-magnetic fractions of samples from the heavy mineral concentrate survey, diverse mineral associations were established. According to the macro- and microscopic analysis of thin sections, the mineral composition of the rocks was determined. Studies of this period of study of the Vechernegorskaya area will expand the range of geological and geophysical studies.

Keywords: Vechernegorskaya area, radiometric survey, heavy mineral concentrate sampling, petrographic composition, mineral composition, gamma activity, granite gneiss

УДК 622.363.2.012:533.632.08(06)(476)

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ НАМЫВНОЙ СОЛЕПЛІТЫ НА ОТРАБОТАННОМ ШЛАМОХРАНИЛИЩЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Н. Н. Прохоров, Н. В. Рябович, А. М. Ефимов

ОАО «Белгорхимпром»
ул. Шоссейная, 4, 223710, Солигорск, Беларусь
E-mail: nprochorov@bmci.by

В процессе строительства намывной солеплиты, формируемой как основание под складирование твердых галитовых отходов на отработанном шламохранилище, необходим постоянный контроль за ее состоянием, в том числе и методами инженерной геофизики. В статье рассмотрены результаты электрометрических исследований, проведенных на опытно-промышленном участке по возведению солеотвала, приведены отдельные примеры интерпретации этих материалов.

Ключевые слова: шламохранилище, солеотвал, пласт-плита, галитовые отходы, рассол, техногенные отложения, геофизические методы, электроразведка, геоэлектрический разрез, электрическое сопротивление.

ВВЕДЕНИЕ

Характерной особенностью горно-обогатительных калийных предприятий является создание вблизи них на поверхности земли хранилищ отходов обогащения. Твердые галитовые отходы складируются в солеотвалы, складирование жидких отходов обогащения осуществляется в шламохранилища. При существующих способах добычи и обогащения руд Старобинского месторождения количество отходов и занимаемая ими площадь будут расти. В этой связи особую актуальность приобретают вопросы, связанные с разработкой технологий складирования отходов калийных предприятий, позволяющих сократить рост площадей, используемых для их размещения. В условиях ОАО «Беларуськалий» площади выбывших из эксплуатации шламохранилищ представляют интерес для использования их под складирование твердых галитовых отходов.

Для ОАО «Беларуськалий» разработан проект опытно-промышленного участка по использованию отработанного шламохранилища ЗРУ под основание расширяемого солеотвала. По этому решению непосредственно на всей поверхности шламохранилища предварительно формируют слой из галитовых отходов, которые вследствие процессов уплотнения преобразуются в прочную полускальную породу, покрывающую всю площадь шламохранилища в виде солеплиты (пласт-плиты). На подготовленном таким образом ложе в дальнейшем формируется солеотвал, технология устройства которого и его высота зависят от несущей способности самой пласт-плиты и шламовых грунтов, ее подстилающих.

В настоящее время ведется опытно-промышленная отработка технологии складирования галито-

вых отходов на отработанное шламохранилище ЗРУ. На всех этапах строительства пласт-плиты должен осуществляться постоянный контроль за ее состоянием. Наряду с используемыми визуальными и инструментальными методами контроля, включающими топогеодезические и инженерно-геологические исследования, необходимо применение и геофизических методов контроля.

В комплексе геофизических методов, применяемых для изучения строения солеплиты, важную роль занимают методы электроразведки на постоянном и низкочастотном переменном токе. Геофизические исследования, которые выполнялись в условиях высоких помех действующего предприятия, показывают достаточно хорошую эффективность методов электроразведки.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Выбор и постановка исследований методами электроразведки базируется на геологическом строении объекта исследований, физических свойствах пород, слагающих изучаемый разрез, и степени их водо- или растворонасыщенности.

Объектом исследования геофизическими методами является солеплита опытно-промышленного участка и подстилающие ее глинистые шламы.

Участок исследований расположен на территории отработанного шламохранилища ЗРУ ОАО «Беларуськалий». Площадь проведения работ представляет собой трехъярусную солеплиту, образованную в результате намыва соли на отработанное

шламохранилище, каждый ярус которой ограничен ограждающими валами для формирования контура намыва. Абсолютные отметки поверхности изменяются в среднем от 167 м в нижней (западной) части до 205 м на участке под рабочей площадкой гидронамыва солеотвала (рис. 1, 2).

Поверхность солеплиты сложная, изрезанная мелкими и местами глубокими трещинами с сетью промоин, которые затрудняют проведение исследо-

ваний, а наличие в них водных растворов осложняет постановку и интерпретацию методов электроразведки. Отдельные участки площади исследований не доступны для проведения работ (рис. 3).

Геологическое строение объекта исследований представлено разрезом, состоящим из техногенных образований (thQ_4sd) и отложений сожского подгоризонта припятского ледникового комплекса (gQ_2pr_2sz) (рис. 4).



Рисунок 1 – Вид на второй ярус намыва пласти-плиты



Рисунок 2 – Вид на западный участок пласти-плиты



Рисунок 3 – Участок поверхности пласти-плиты, пересеченной глубокими промоинами

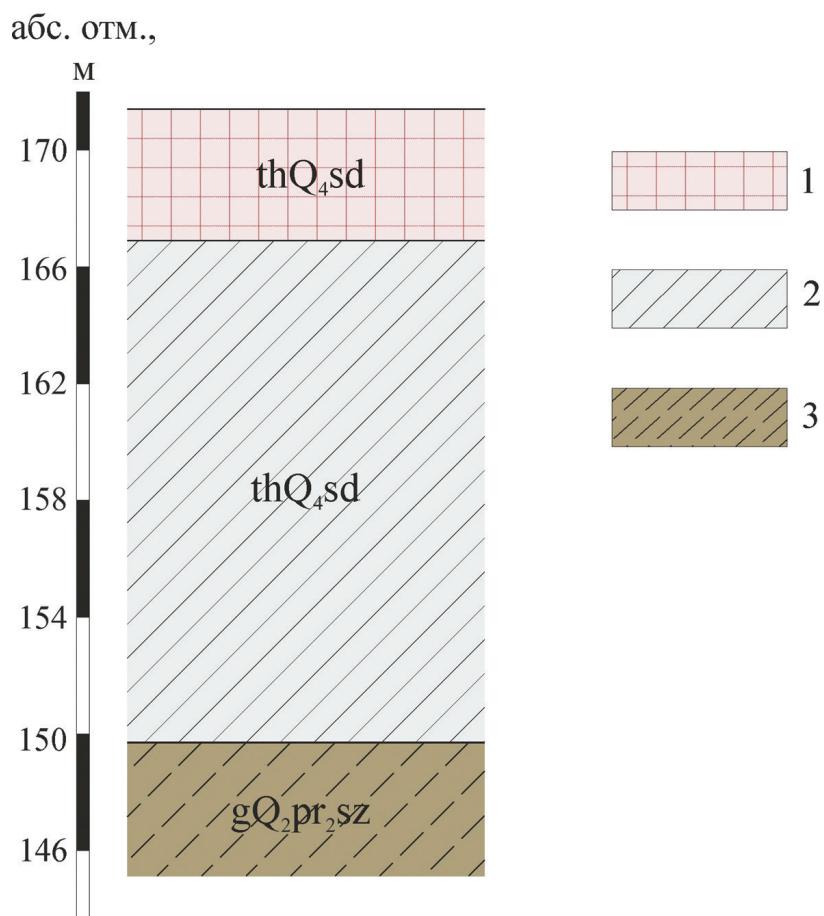


Рисунок 4 – Геологическое строение участка работ
(на примере скважины № 13, пробуренной в 2019 г.):

1 – техногенные отложения (соль);
2 – техногенные шламовые грунты (глины и суглинки); 3 – супесь

Техногенные отложения залегают с дневной поверхности и состоят из соли, образующей само тело пласт-плиты, и глинисто-солевых шламов, сложенных суглинками и глинами, заполняющими шламохранилище. Отложения сожского подгоризонта припятского ледникового комплекса являются естественным природным основанием и отделены от техногенных отложений защитной противофильтрационной полиэтиленовой пленкой, поверх которой отсыпан защитный слой из песка мощностью не менее 0,5 м. Представлены отложения супесью зеленовато-желтовато-серой, плотной, сильно влажной.

Для формирования соляной плиты на поверхности отработанного шламохранилища используют свежие галитовые отходы с обогатительных фабрик, которые наносят гидронамывом и выравнивают бульдозерной техникой. Галитовые отходы, вследствие процессов уплотнения и кристаллизации солей, со временем из сыпучей массы преобразуются в твердую породу, которая одновременно является статической нагрузкой для уплотнения шламовых грунтов и дренирующим слоем, в который будут отжиматься рассолы. Предварительной статической нагрузкой не только упрочняются шламовые грунты основания будущего солеотвала, но и предупреждается их выпор за пределы ограждающих дамб шламохранилища.

По результатам выполненных инженерно-геологических изысканий и на основании проведенных научных исследований сделан вывод, что толща как намывных, так и подстилающих грунтов в пределах пласт-плиты неоднородна.

Грунты, залегающие в основании соляных полей, представлены в основном суглинками различной консистенции (текучей, мягкопластичной и текучепластичной). В единичных случаях встречена супесь твердая. Намывной грунт представлен в основном кристаллической дробленной солью.

Основным химическим компонентом, слагающим солеплиту, является хлористый натрий 91–92 %, количество хлористого калия составляет 3–4 %. Химический состав шламов включает 25–30 % водорастворимых солей и 70–75 % нерастворимого остатка из глинистого материала, карбонатов и сульфатов.

Плотность свежеотсыпанного галитового грунта изменяется в пределах от 1,51 до 1,70 г/см³, уплотненного – от 2,16 до 2,24 г/см³. Плотность шламовых грунтов зависит от рассоловодорожания и изменяется в пределах от 1,83 до 1,96 г/см³.

Влажность – важный параметр, во многом определяющий физические свойства галитовых и шламовых грунтов. Значение естественной влажности

свежеотсыпанного галита колеблется от 8 до 13 %, после слеживания (12 месяцев) – от 2 до 4 %. Влажность шламовых грунтов, подстилающих солеплиту, колеблется в пределах 33–37 %. Следует отметить, что заполнение пор грунтов солеплиты происходит не водой, а растворами солей с минерализацией 360–375 г/дм³, что резко изменяет их физические свойства.

В методах электроразведки, основанных на применении постоянного (низкочастотного) электрического тока, изучается характер распределения кажущегося электрического сопротивления (ρ_k) по глубине изучаемого объекта, что достигается изменением длин разносов питающих и приемных электродов. Изучаемые химические отходы следует рассматривать как трехкомпонентные соединения, в которых величина кажущегося электрического сопротивления определяется вещественным составом, пористостью и растворонасыщенностью.

В общем виде электрофизическую модель изучаемого объекта можно представить как двухкомпонентную среду, в которой первый слой представляет собой твердую техногенную полускальную породу, состоящую из кристаллизационной соли с жидким концентрированным рассолом в поровом пространстве. Второй слой – это основание пласт-плиты, представленное глинисто-солевыми шламовыми отходами. Удельные электрические сопротивления грунтов, слагающих солеплиту, могут изменяться в пределах первых Ом·м, при более высокой пористости и незначительной влажности – первых десятков Ом·м. Наличие рассольных горизонтов в грунтах первого слоя снизит значения сопротивлений до величин, близких к нулю, что составит определенную сложность в изучении геоэлектрического разреза, так как одной из важных задач исследований, является изучение мощности солеплиты. Для таких условий необходимо проводить подбор геофизических методов и приемов ведения наблюдений, позволяющих с хорошей разрешающей способностью решать поставленную задачу (например, методы сейсморазведки).

Опыт использования геофизических методов на солеотвалах ОАО «Беларуськалий» и на участках солеплиты показывает, что в качестве одного из основных методов исследований необходимо использовать электроразведочные, основанные на постоянном и низкочастотном переменном токе. Методы электроразведки имеют высокую информативность и достаточную разрешающую способность при решении поставленных задач.

Основная трудность в проведении полевых геофизических исследований на солеплите заключается в наличии рассолов на ее поверхности. Методы

электроразведки крайне чувствительны к влажной высокопроводящей поверхности солеплиты, которая вызывает сильное затухание полезного сигнала. Поэтому для получения более качественных результатов исследования методами электроразведки необходимо проводить в периоды с наименьшей влажностью на поверхности пласти-плиты [1; 3; 4; 5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В основе выбора и постановки методов электроразведки лежит электрофизическая модель, характеризующая состояние пласт-плиты в стационарном состоянии, когда работы по гидронамыву не проводятся длительное время. Данная модель – четырехслойный геоэлектрический разрез, слои которого обладают различными характеристиками.

В теле солеплиты первый, наиболее маломощный геоэлектрический слой представлен верхней частью пласти-плиты, подверженной воздействию атмосферных осадков и образованию каверн и пу-

стот. Характеризуется повышенными величинами удельного электрического сопротивления ρ_1 , изменяющегося по данным вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) от 5 до 20 Ом·м. В средней части геоэлектрического разреза выделяется слой, представленный твердыми солеотходами с повышенной влагонасыщенностью. Величины ρ_2 для этой части разреза изменяются в пределах 1–5 Ом·м по материалам интерпретации метода ВЭЗ. Нижняя часть разреза сложена породами глинистого состава, являющимися основанием солеплиты. Они характеризуются самыми низкими величинами ρ_4 , изменяющимися в пределах от 0,01 до 0,5 Ом·м, иногда снижаясь в своих значениях до 0,001 Ом·м. На отдельных участках изучаемого объекта, в нижней части разреза, т. е. в приконтактной зоне пласти-плиты и шламовых грунтов отработанного шламохранилища, выделяются геоэлектрические слои, характеризующиеся значениями сопротивлений ρ_3 в пределах 0,1–0,5 Ом·м. Данные слои можно рассматривать как слои рыхлых влагонасыщенных галитов, перемешанных с глинистой фракцией шламов (рис. 5).

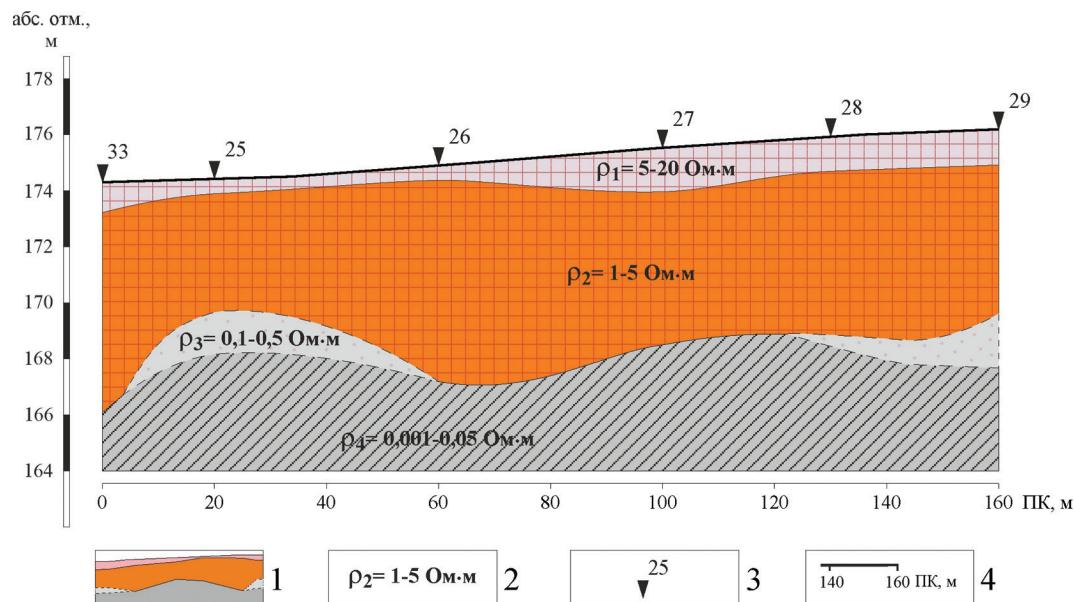


Рисунок 5 – Геоэлектрическая модель солеплиты:

1 – геоэлектрические слои и их границы; 2 – удельное сопротивление геоэлектрического слоя, Ом·м;
3 – точки зондирований; 4 – расстояние по длине профильной линии, м

В случае наличия в соляных породах рассольного горизонта (при выполнении исследований на действующей пласт-плите) геоэлектрическая модель изучаемого объекта представляется также в виде двух-, четырехслойного разреза, однако граница нижнего геоэлектрического горизонта связана с рассолонасыщенными соляными породами. В этом случае нижняя граница контакта соляных пород и пород глинистого состава, лежащих в основании солеплиты, по данным электрометрических наблюдений, не выделяется.

Полевые электрометрические исследования по изучению геоэлектрического разреза объекта исследований проводились в два основных этапа. На этапе опытно-методических работ изучались геоэлектрические характеристики грунтов, которые позволили выбрать необходимые параметры применяемых установок. Далее выполнялись исследования по сети профильных линий, местоположение которых выбиралось исходя из охвата площади участка исследований. Электрометрическими исследованиями

изучалась картина распределения величин сопротивлений как по площади участка исследований, так и по разрезу пород. По результатам работ были построены геоэлектрические разрезы, карты значений кажущихся удельных электрических сопротивлений для различных разносов установок профилирования, карты мощности геоэлектрических слоев. На основании полученных данных проводилась качественная оценка рассолонасыщенности пород по площади исследования, изучалось строение солеплиты в разрезе.

Электроразведочные работы проводились методом вертикального электрического зондирования. Измерения проводились на постоянном токе четырехэлектродной симметричной установкой АМНВ. Заземление питающих и приемных электродов производилось в пробуренные шпуры на участках с твердой поверхностью пласт-плиты, либо электроды забивались в каверны, заполненные рыхлым материалом. Увлажнение точек заземления практически не производилось, так как предварительные измерения, проведенные на пласт-плите, показали хорошие условия заземлений [2].

Перед началом основных работ были проведены опытно-методические и параметрические электрометрические исследования у скважин. Работы выполнялись с целью определения возможностей электроразведки при проведении исследований в условиях действующего объекта и при разных погодных условиях.

При проведении опытно-методических работ наибольший акцент ставился на исследования с целью изучения влияния климатического фактора на результаты измерений. Выпадение атмосферных осадков на поверхность пласт-плиты приводит к резкому изменению физических свойств ее верх-

ней части, т. е. появление на поверхности солеплиты высокопроводящей среды значительно затрудняет, а зачастую и делает невозможным проведение измерений и интерпретацию получаемых материалов.

В выбранных точках профильных линий были проведены электрометрические исследования в сухой период года с повторными измерениями непосредственно после дождей. На рисунке 6 приведены результаты измерений в точке ВЭЗ № 4 в сухой период и измерения в этой же точке (ВЭЗ № 4-1) после обильных дождей. В результате работ были получены кривые ВЭЗ, характеризующие состояние соляных отложений пласт-плиты в различных условиях (см. рис. 6).

Из данного рисунка видно, что влияние атмосферной влаги сказалось на верхней части геоэлектрического разреза. В период повторных наблюдений (ВЭЗ № 4-1) значения кажущихся удельных электрических сопротивлений ρ_k в верхней части кривой уменьшились. Наибольшие изменения коснулись начальных разносов кривой зондирования. Далее с увеличением глубины зондирования до разносов $AB/2 = 4$ м влияние атмосферной влаги постепенно уменьшается, а с разносом питающей линии более $AB/2 = 4$ м величины сопротивлений выходят на уровень летних измерений. Количественная оценка проведенных измерений показывает, что изменения, связанные с атмосферной влагой, затронули верхнюю часть солеплиты до глубин приблизительно 1–1,5 м от поверхности. Однако влияние условий заземления сказалось и на выделении границ более глубоко залегающих горизонтов, что необходимо учитывать при интерпретации материалов и при проведении дальнейших исследований.

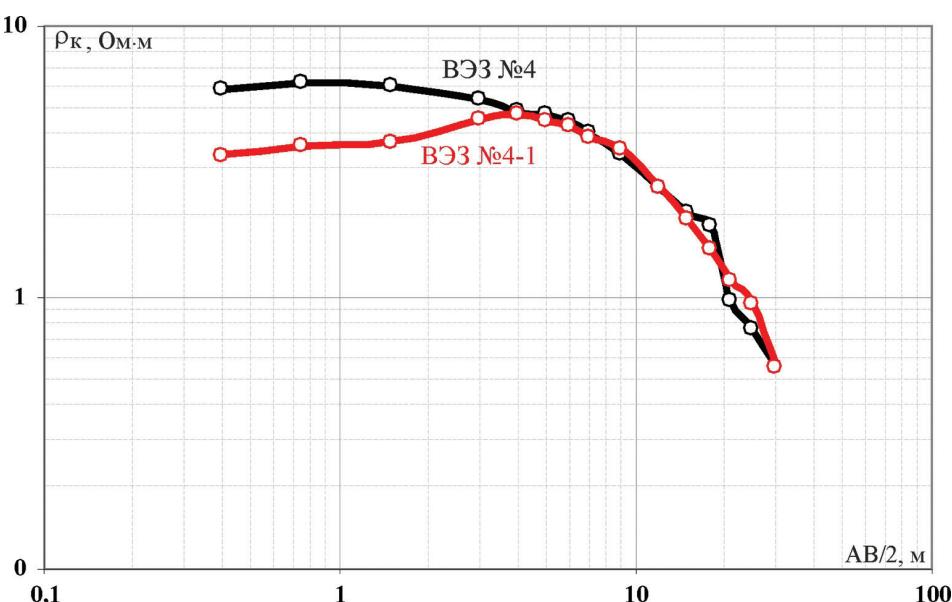


Рисунок 6 – Результаты повторных зондирований (ВЭЗ № 4-1) в точке ВЭЗ № 4

Параметрические исследования методом ВЭЗ проводились у инженерно-геологических скважин и ставили своей целью установление зависимостей электросопротивлений с разрезом изучаемых грунтов и дальнейшую уверенную интерпретацию результатов полевых электроразведочных работ.

На рисунке 7 представлен пример количественной интерпретации кривых по параметрическим зондированиям, проведенным у инженерно-

геологической скважины № 16. Здесь представлены четырехслойные кривые с различными мощностями геоэлектрических слоев. Первые три наиболее высокоомных слоя связаны с частями солеплиты с различной степенью уплотненности и влажности, а кровля четвертого геоэлектрического слоя выделяется на уровне рассолов, зафиксированных в скважинах в процессе проведения полевых геофизических работ.

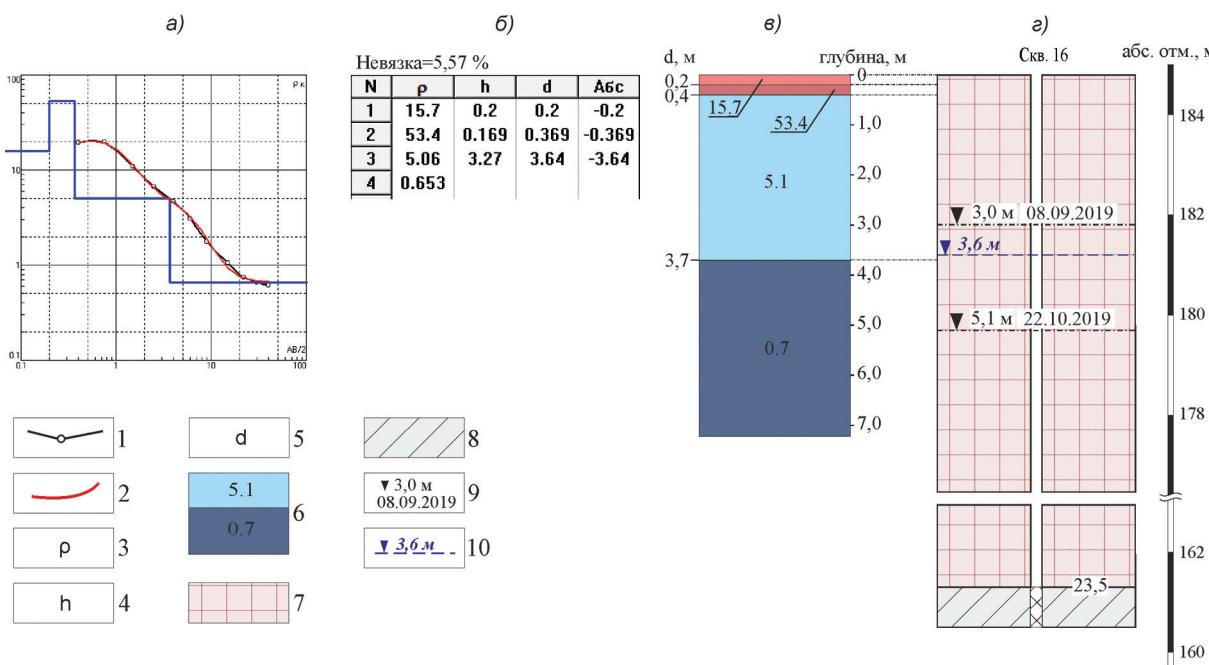


Рисунок 7 – Результаты параметрических исследований у инженерно-геологической скважины:
а – полевая кривая ВЭЗ; б – результаты количественной интерпретации; в – геоэлектрическая модель;

- г – инженерно-геологический разрез скважины 16;
1 – полевая кривая ВЭЗ; 2 – теоретическая кривая; 3 – удельное сопротивление геоэлектрического слоя, Ом·м; 4 – мощность геоэлектрического слоя, м; 5 – глубина залегания подошвы геоэлектрического слоя, м; 6 – границы геоэлектрических слоев и величина их удельного сопротивления; 7 – техногенные отложения солеплиты (соль); 8 – техногенные шламовые грунты (суглинок); 9 – уровень рассола в скважине и дата замера; 10 – уровень рассола на момент проведения геофизических исследований

При выполнении полевых исследований в процессе работ проводится их качественная интерпретация. Качественная оценка материалов зондирований хорошо иллюстрируется в виде псевдоразреза кажущихся удельных электрических сопротивлений (ρ_k), построенных по одной из профильных линий пласт-плиты (рис. 8). Представленный на рисунке 8 разрез кажущихся удельных электросопротивлений строился по линии створа от более высокой мощности солеплиты к минимальной. Картину распределения значений ρ_k показывает, что наиболее высокие сопротивления фиксируются в верхней части разреза. Мощность наиболее высокоомных пород снижается в северном направлении и согласуется со снижением мощности пласт-плиты. В изучаемом разрезе хорошо выделяются относитель-

но высокоомные отложения самого тела солеплиты (ρ_k от 30–40 Ом·м) и переход к подстилающим их низкоомным (менее 2–3 Ом·м) глинистым отложениям либо к сильно рассолонасыщенным породам пласт-плиты.

Результаты количественной интерпретации материалов зондирований по профильным линиям участка работ легли в основу построения геоэлектрических разрезов, на которых выделяются основные геоэлектрические слои, характеризующие тело пласт-плиты. На рисунке 9 приведен геоэлектрический разрез, построенный по профилю, также характеризующему строение солеплиты при переходе от значительных ее мощностей к минимальным значениям.

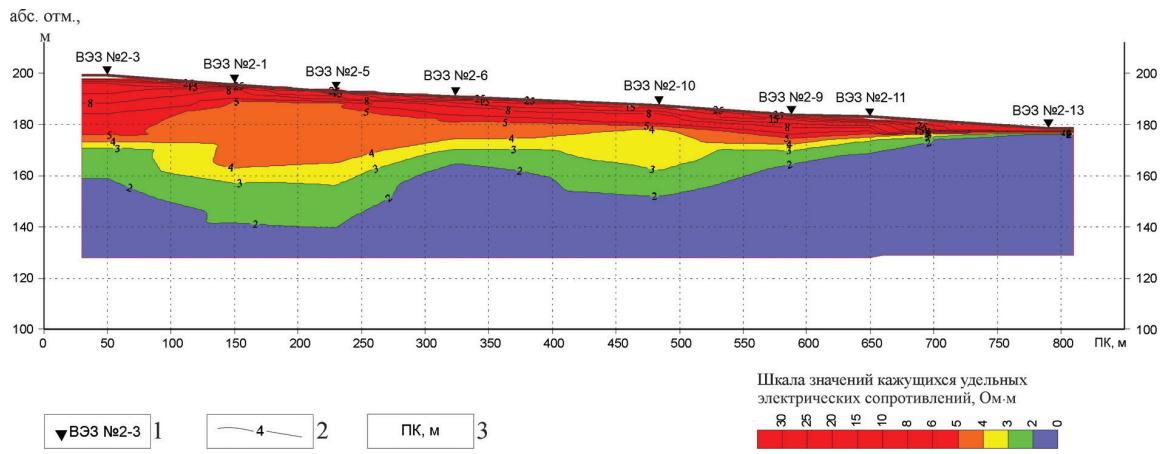


Рисунок 8 – Псевдоразрез по одной из профильных линий солеплиты:
1 – точки электроздондирований; 2 – изолинии кажущихся удельных электрических сопротивлений;
3 – расстояние по длине профильной линии, м

В геоэлектрическом разрезе изучаемой толщи пород выделяется первый от поверхности геоэлектрический слой – самая маломощная часть пласт-плиты (мощность от 0,2 до 1 м), подверженная воздействию атмосферных осадков и образованию каверн и пустот. Он характеризуется повышенными величинами удельного электрического сопротивления ρ_1 , изменяющимися от 10 до 25 Ом·м. Далее следует второй геоэлектрический слой, представленный более уплотненными солеотходами с мощностью от 1 до 8 м, который характеризуется величинами удельного электрического сопротивления ρ_2 , близкими

к значениям первого слоя и изменяющимися в пределах от 5 до 15 Ом·м. Третий геоэлектрический слой, мощностью 2–13 м, представлен твердыми солеотходами с повышенной влагонасыщенностью. Величины сопротивлений ρ_3 для этой части разреза изменяются в пределах 2–5 Ом·м. Самая нижняя часть геоэлектрического разреза (четвертый геоэлектрический слой) сложена плотной, массивной породой солеплиты, обводненной рассолом. Она характеризуется самыми низкими величинами ρ_4 , изменяющимися в пределах от 0,1 до 1 Ом·м, иногда достигая значений до 0,01 Ом·м (см. рис. 9).

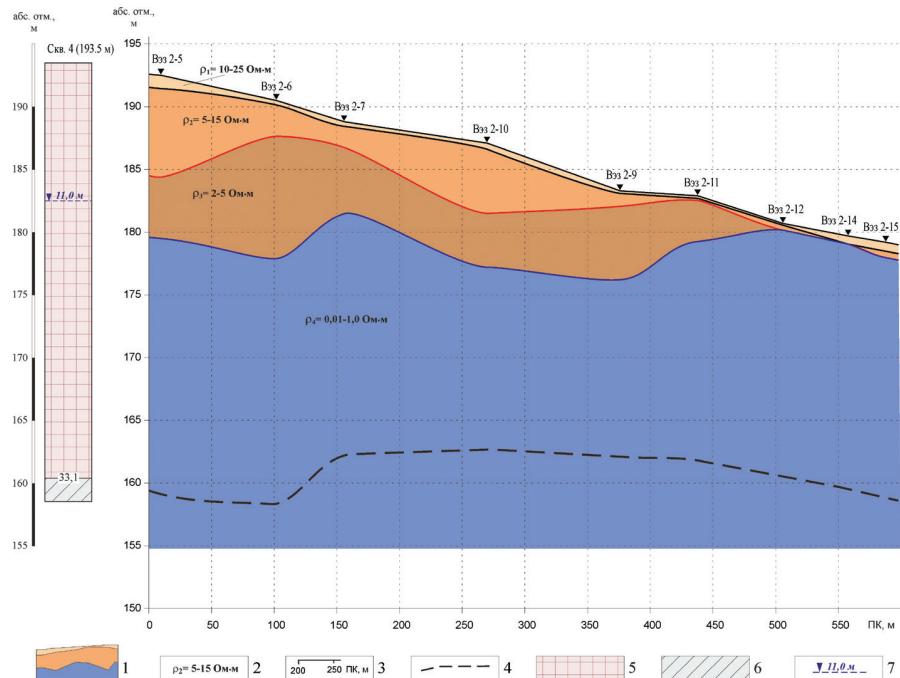


Рисунок 9 – Геоэлектрический разрез по профильной линии солеплиты:
1 – геоэлектрические слои и их границы; 2 – значения удельного сопротивления выделенного геоэлектрического слоя, Ом·м; 3 – расстояние по длине профильной линии, м; 4 – граница залегания подошвы пласт-плиты, по данным бурения и сейсморазведочных работ; 5 – техногенные отложения солеплиты (соль); 6 – техногенные шламовые грунты (суглинок); 7 – уровень рассола на момент проведения геофизических исследований

На основании полученных разрезов была построена карта мощности солеплиты до подошвы третьего геоэлектрического слоя (рис. 10). Данная граница с достаточной долей уверенности характеризует поведение границы обводненных рассолов пород пласт-плиты по площади исследований.

Однако из-за наличия большого количества влаги на поверхности и в теле изучаемого объекта значения глубин могут быть несколько искажены вследствие эффекта «затягивания» кривой ВЭЗ при измерениях очень малых величин сопротивлений солеотходов тела пласт-плиты.

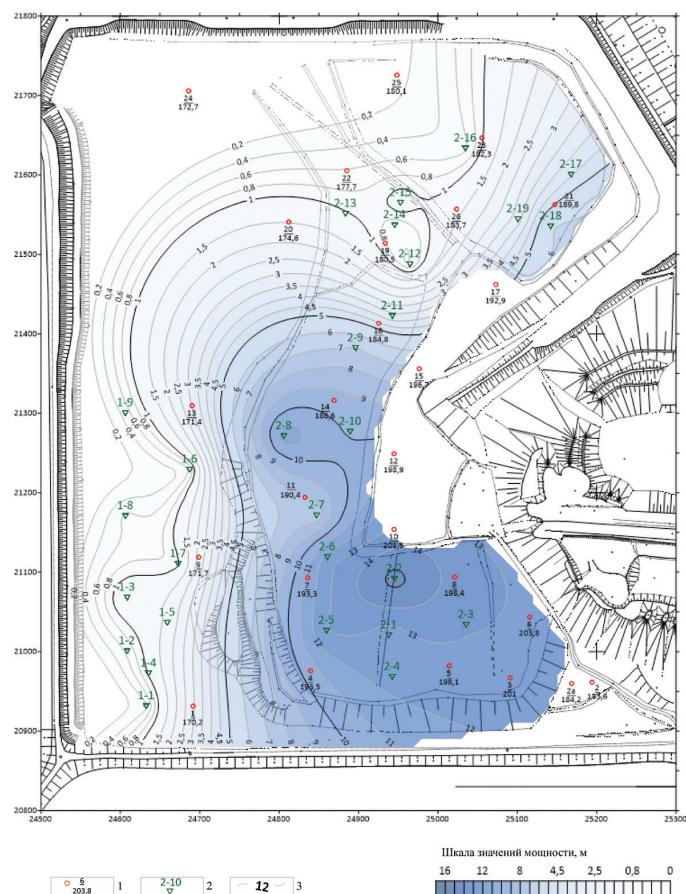


Рисунок 10 – Карта мощности солеплиты до подошвы третьего геоэлектрического слоя:
1 – геологоразведочная скважина и ее номер; 2 – точка проведения ВЭЗ и ее номер;
3 – изолинии мощности солеплиты до подошвы третьего геоэлектрического слоя, м

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования по изучению намывной солеплиты показали достаточно хорошую информативность методов электроразведки. В ходе исследований выделены наиболее эффективные методы изучения строения пласт-плиты, определены максимальная разрешающая способность и точность метода. Использование электроразведочных методов показывает хорошую сходимость результатов исследований с данными бурения и открывает новые возможности их применения при изучении строения массива пород, сложенного техногенными галитовыми грунтами.

В результате обработки и интерпретации материалов электроразведки было установлено:

1. Массив изучаемой пласт-плиты низкоомный. Качественная интерпретация электрометрических

исследований показывает, что на разрезе сопротивлений выделяются относительно высокоомные отложения тела солеплиты и переход к подстилающим их низкоомным глинистым отложениям либо к сильно рассолонасыщенным породам пласт-плиты. Мощность наиболее высокоомных пород снижается согласно снижению мощности пласт-плиты.

2. Геоэлектрический разрез пород, слагающих тело солеплиты, – двух-, четырехслойный. По результатам количественной интерпретации выделяются геоэлектрические слои, связанные: а) с первым от поверхности горизонтом рыхлой галитовой породы; б) с более уплотненными породами пласт-плиты; в) с последним геоэлектрическим слоем, связанным с подстилающими их глинистыми отложениями, либо с сильно рассолонасыщенными породами пласт-плиты. Количество и мощность выделяемых геоэлектрических слоев в основном

зависит от суммарной мощности солеотходов пласт-плиты и их рассолонасыщенности.

3. Различия в геоэлектрических характеристиках грунтов позволяют с достаточной долей уверенности выделять горизонты, характеризующие мощности отложений солеплиты, находящихся в различном

состоянии, мощность самой солеплиты до ее подошвы, а также поведение границы обводненных рассолов пород пласт-плиты по площади исследований.

Полученные результаты легли в основу разработки геоэлектрической модели пласт-плиты для различных состояний слагающих ее пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение технического состояния солеплиты, формируемой на отработанном шламохранилище ЗРУ РУП «ПО «Беларуськалий» в качестве основания будущего солеотвала, методами инженерной геофизики / С. Ф. Шемет [и др.] // Вестник Белнефтехима. – 2009. – № 9. – С. 56–59.

2. Огильви, А. А. Основы инженерной геофизики / А. А. Огильви ; под ред. В. А. Богословского – М. : Недра, 1990. – 501 с.

3. Опыт применения геофизических методов с целью изучения технического состояния солеплиты, формируемой на отработанном шламохранилище ЗРУ РУП «ПО «Беларуськалий» / С. Ф. Шемет [и др.] // Горная механика и машиностроение. – 2010. – № 2. – С. 5–11.

4. Смычник, А. Д. Геоэкология калийного производства / А. Д. Смычник, Б. А. Богатов, С. Ф. Шемет. – Минск : ЗАО «ЮНИПАК», 2005. – 200 с.

5. Шемет, С. Ф. Геофизические исследования по изучению строения и оценке состояния намывной солеплиты на площади отработанного шламохранилища / С. Ф. Шемет, Н. Н. Прохоров, Т. П. Кафанова // Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 16–19.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 27.04.2023

Рэцэнзент А. М. Галкін

ВЫВУЧЭННЕ БУДОВЫ НАМЫЎНАЙ СОЛЕПЛІТЫ НА АДПРАЦАВАНЫМ ШЛАМАСХОВІШЧЫ МЕТАДАМІ ЭЛЕКТРАЗВЕДКІ

М. М. Прохараў, М. В. Рабовіч, А. М. Яфімаў

ААТ «Белгорхімпрам»
вул. Шашэйная, 4, 223710, Салігорск, Беларусь
E-mail: nprochorov@bmci.by

У працэсе будаўніцтва намыўной саліяной плиты, фармаванай пад складзіранне цвёрдых галітавых адходаў на адпрацаваным шламасховішчы, неабходны паставянны контроль за яе станам, у тым ліку і метадамі інжынернай геафізікі. У артыкуле разгледжаны вынікі электраметрычных даследаванняў, праведзеных на доследна-прамысловым участку па ўзвядзенню саліянога насыпу, прыведзены асобныя прыклады інтэрпрэтацыі гэтых матэрыялаў.

Ключавыя слова: шламасховішча, солеадвал, пласт-плита, галітавыя адходы, расол, тэхнагенные адклады, геафізічныя метады, электраразведка, геаэлектрычны разрэз, электрычнае супраціўленне.

STUDYING THE STRUCTURE OF ALLUVIAL SALT PLATE ON A WASTE SLUDGE STORAGE BY ELECTRICAL PROSPECTING METHODS

N. Prokhorov, N. Rabovich, A. Efimov

JSC «Belgorkhimprom»
4 Shosseynaya St, 223710, Soligorsk, Belarus
E-mail: nprochorov@bmci.by

Alluvial salt plate is formed on waste sludge storage as a basement for solid halite waste storage. In the process of its construction, alluvial salt plate requires constant condition monitoring, including geophysical monitoring. The article presents the results of the electrometric survey conducted at the salt plate construction site. Several examples of interpretation of these materials are given.

Keywords: sludge depository, salt dump, plast-plate, halite waste, brine, technogenic sediments, geophysical methods, electric prospecting, geoelectric section, electrical resistivity.

КАРЫСНЫЯ ВЫКАПНІ

УДК 550.842:553.982.2

ЛІТОЛОГО-ФАЦІАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ПОЛОЦКОГО ГОРІЗОНТА И ЛАНСКОГО НАДГОРІЗОНТА РЕЧИЦЬКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. С. Грудинін

Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти (БелНИПИнефть)
ул. Книжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: a.grudinin@beloil.by

Статья посвящена особенностям литолого-фаціальних условий девонских подсолевых терригенных отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта Речицкого нефтяного месторождения. На основании анализа имеющегося описания кернового материала, петрографических шлифов, а также фаціального районирования выполнен литолого-фаціальный анализ, по результатам которого установлено, что процесс осадконакопления терригенных отложений происходил в условиях внутриплатформенного мелководного моря с сильнейшим воздействием водных потоков с окружающей суши и контролировалось, главным образом, интенсивностью и направленностью конседиментационных тектонических движений и расчлененностью рельефа дна бассейна седиментации. В качестве наиболее приоритетной модели осадконакопления в пределах Речицкого месторождения принята концептуальная модель приливно-отливной дельты, для нижней части разреза ланского надгоризонта – модель барьерного побережья.

Ключевые слова: Речицкое нефтяное месторождение, отложения полоцкого горизонта и ланского надгоризонта, литолого-фаціальные условия, фаціальное районирование.

ВВЕДЕНИЕ

По мере выработки высокопродуктивных залежей углеводородного сырья в Припятском нефтегазоносном бассейне все большее значение для воспроизводства ресурсно-сырьевой базы и поддержания текущих темпов добычи углеводородов в Республике Беларусь приобретают залежи, отличающиеся высокой степенью геологической неоднородности и низкими фильтрационно-емкостными свойствами. Очевидно, что для создания эффективной системы разработки по этим залежам необходимо провести детальные исследования, направленные на детализацию условий формирования, прогноз площадного распространения и картирование зон с более высокими фильтрационно-емкостными свойствами пластов-коллекторов [5].

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Речицкое нефтяное месторождение в тектоническом отношении расположено в пределах гребневой части Речицко-Вишанской региональной зоны локальных поднятий Северной структурно-тектонической ступени Припятского прогиба [3].

Промышленная нефтегазоносность Речицкого месторождения связана с породами кристаллического фундамента, верхнепротерозойскими и девон-

скими отложениями подсолевой, межсолевой и верхнесолевой толщ Припятского нефтегазоносного бассейна. Всего в пределах месторождения открыто 23 залежи нефти, выделено 13 объектов разработки. Основная доля разведанных начальных геологических запасов нефти (категории A+B+C1) сконцентрирована в карбонатных коллекторах (90 %): в отложениях внутрисолевой и межсолевой толщ – 53 %; подсолевой карбонатной толщи – 37 %. К терригенным коллекторам приурочено 10 % запасов нефти: к отложениям полоцкого горизонта и ланского надгоризонта – 8 %; к отложениям венденского комплекса и породам кристаллического фундамента – 2 %.

Терригенные отложения живетского и франкского ярусов среднего и верхнего девона сформировались в условиях внутриплатформенного морского бассейна, широко распространенного на территории Русской платформы. Припятский прогиб в пределах Восточно-Европейской платформы находился на стадии синеклизы и представлял собой мелководное море (с опресненной морской водой, а временами и местами – осолоненной), куда поступал обломочный материал с окружавшей пенепленизированной суши (Жлобинской седловины, Белорусской антеклизы и Украинского кристаллического щита), образованный в результате процессов размыва, переноса осадков речными дельтовыми системами, а также прибрежной абразии. В истории

геологического развития отложений полоцко-ланского комплекса выделяется несколько трансгрессивных и регрессивных фаз развития бассейна седиментации. Отмечается довольно частая дифференциация осадка по фациальной принадлежности.

Отложения полоцкого горизонта, составляющие среднюю часть подсолевой терригенной толщи девона, несогласно залегают на подстилающих карбонатно-глинистых породах наровского надгоризонта и перекрываются песчано-глинистой тол-

щей ланского надгоризонта. Особенностью строения полоцкого горизонта является его цикличность [4; 6]. Разрез сложен переслаиванием песчано-алевритовых пород с мощными прослоями глинистых пород и редкими прослоями доломитов и доломитовых мергелей. По литологическим и палинологическим данным полоцкий горизонт подразделяется на горынские, столинские и морочкие слои (рис. 1) [4].

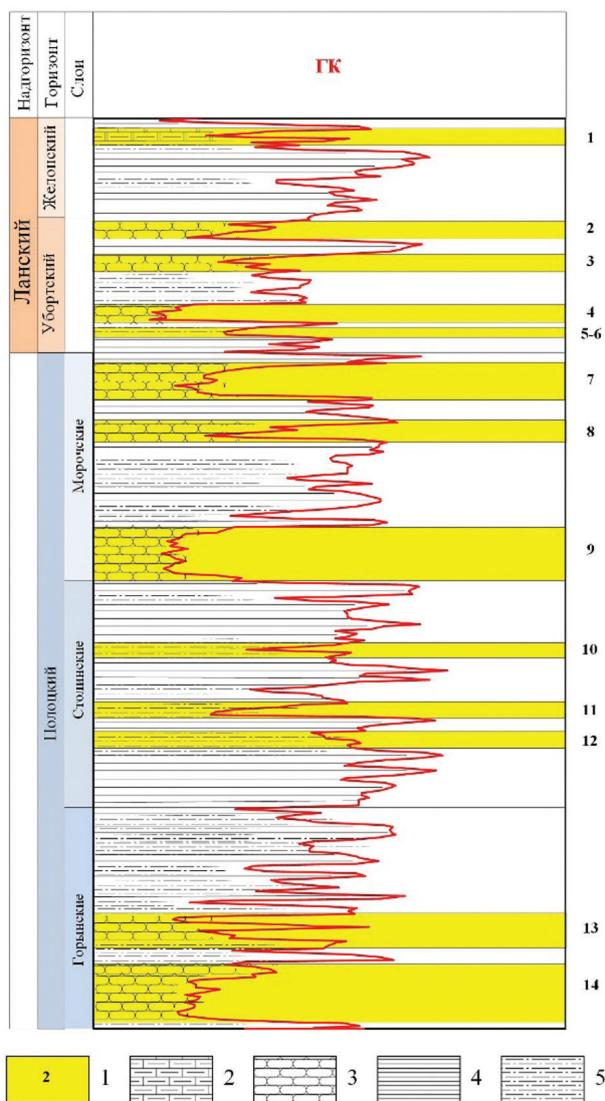


Рисунок 1 – Подсолевой терригенный разрез отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта Речицкого месторождения:
1 – литопачки; 2 – известняк глинистый; 3 – песчаник; 4 – глина; 5 – алевролит

Отложения ланского надгоризонта, завершающие разрез подсолевой терригенной толщи, несогласно залегают на породах полоцкого горизонта и перекрываются глинисто-карбонатными породами саргаевского горизонта. Отложения ланского надгоризонта, так же как и полоцкого, составляют крупный ритм осадконакопления, сложенный

в нижней части песчаниками и алевролитами, разделенными маломощными прослоями глин, в верхней – глинами с прослоями песчано-алевритовых и карбонатных пород. По литологическим и палинологическим данным ланский надгоризонт подразделяется на убортский и желонский горизонты (см. рис. 1) [4; 7].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Корреляция разрезов скважин, как известно, проводится для определения последовательности залегания пород, выявления одноименных пластов в разрезе скважин и прослеживания изменения их мощности, литологического и фациального состава [10]. Для выполнения работ по детализации геологического разреза отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта выполнено расчленение разреза на литологические пачки (литопачки), характеризующиеся общностью признаков как по физическим, так и по коллекторским свойствам, занимающие определенное положение в геологическом разрезе.

В качестве стратотипа отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта Речицкого нефтяного месторождения использовалась модель-схема расчленения разреза с элементами кодификации природных резервуаров Припятского прогиба, составленная и принятая в РУП «ПО «Белоруснефть». Согласно данной схеме полоцко-ланская толща содержит четырнадцать литопачек, группирующих пластины-коллекторы, выделенных по материалам ГИС: восемь литопачек в полоцком горизонте (7–14) и шесть (1–6) в ланском надгоризонте (см. рис. 1) [1]. В основании каждой литопачки залегают песчано-алевролитовые породы, перекрывающиеся глинистыми отложениями. Основными различиями литопачек являются слабосцементированные песчаники и алевролиты, кварцевые, слюдисто-кварцевые, с глинистым, глинисто-доломитовым, реже кальцитовым и ангидритовым цементами. Преобладают мелкозернистые песчаники и крупнозернистые алевролиты.

С целью изучения условий формирования и распространения отдельных нефтегазоносных песчаных толщ (литопачек) были составлены карты пористости, глинистости и карты эффективной мощности. В связи с тем, что пластины-коллекторы литопачек 10–14 горынских и столинских слоев полоцкого горизонта на большей части Речицкого месторождения водонасыщены, а литопачка 1, залегающая в отложениях желонского горизонта ланского надгоризонта, не является коллектором и, по мнению автора, представлена карбонатной породой, литолого-фациальный анализ проводился по литопачкам 9–2, формирующими верхнеполоцкий и ланский резервуары (далее по тексту – полоцко-ланский резервуар) (см. рис. 1).

При проведении фациальных исследований изучались имеющиеся описания кернового материала (рис. 2) и петрографическиешлифы по исследуемым скважинам, также была использована методика электрометрического анализа осадочных комплексов (рис. 3), базирующаяся на седименто-

логическом факторе, обуславливающем изменение палеогидродинамических уровней режима осадконакопления и связанных с ними литофизических свойств пород по разрезу, фиксируемых на каротажных кривых. В основе метода лежит положение о том, что седиментационные признаки, сохраняющиеся в породе, отражают динамику среды седиментации, среди которых главными являются гранулометрический и вещественный состав, характер контактов, мощность, структуры, текстуры и т. д. Изучение этих признаков по разрезу и площади позволяет выявить изменение палеогидродинамических режимов среды осадконакопления в пространстве. Для расчленения разрезов использовался комплекс ГИС, который включает гамма-каротаж (ГК), а также нейтронный и боковой каротаж (НГК, БК). При выделении фациальных обстановок терригенного седиментогенеза в пределах изучаемого района использованы методические приемы фациального районирования, приведенные в работах G. Einsele, B. C. Муромцева [8; 11].

Согласно выполненному литолого-фациальному анализу отложений верхнеполоцкого резервуара можно предположить, что осадконакопление происходило в мелководноморских и прибрежноморских условиях в зависимости от трангрессивно-ретрессивных циклов колебания моря. В период активизации пресноводных потоков мелководноморские фациальные условия приближались к авандельтовым [6]. Как отмечают ряд исследователей в своих работах [6], а также автор данной статьи, процесс осадконакопления контролировался конседиментационным характером развития структур и расчлененностью рельефа дна бассейна седиментации. В восточной (район скважин 243, 202 и 74) и центральной (район скважин 266, 238, 199 и 91) частях Речицкой площади выделяются крупные поля, характеризующиеся наличием в разрезе мощных пачек песчаников и алевролитов с максимальными значениями открытой пористости (от 0,15 до 0,25 д. ед.) и относительно низкими значениями коэффициента глинистости (менее 0,15 д. ед.). Образование данных участков связано с аккумулятивными формами надводной/подводной дельты (конусы выноса, дельтовые каналы, приливно-отливные каналы, приливно-отливные песчаные отмели) (рис. 4).

На картах глинистости и пористости рассматриваемых литопачек можно проследить закономерность: по мере удаления от участков, сформировавшихся в фациальных условиях аккумулятивных форм надводной/подводной дельты к северо-западной части Речицкой площади (район скважин 67, 95, 113, 270, 280, 152, 143 и др. – приливно-отливные отмели морского края дельты), происходит постепенное увеличение величины

коэффициента глинистости (от 0,25 до 0,55 д. ед.) и уменьшение значений коэффициента открытой пористости (менее 0,10 д. ед.) (рис. 5). Как отмечают ряд авторов [6], волнения и течения, воздействуя на отлагавшийся кластический материал, способ-

ствовали его перемыванию и переотложению, при этом в первую очередь вымывались тонкоалевролитовые и пелитовые частицы, которые сносились в пониженные участки палеорельефа и крыльевые части структур [6].



Рисунок 2 – Фотографии основных литотипов пород литопачки 7 Речицкого месторождения:
1 – скв. Речицкая 285, гл. 2905,9 м. Песчаник микро-мелкозернистый с включениями крупных интракластов глинистых пород, с трещинами синерезиса (приливно-отливный канал); 2 – скв. Речицкая 212, гл. 2683,8 м. Песчаник тонкозернистый, нефтенасыщенный, с текстурами ряби течения, подчеркнутыми намывами глинисто-слюдистого материала (дельтовый канал); 3 – скв. Речицкая 207, гл. 2656,62 м. Песчаник микро-мелкозернистый, неравномерно глинистый, слоистый (приливно-отливная песчаная отмель); 4 – скв. Речицкая 341, гл. 2620,82 м. Песчано-глинистая порода, тонкослоистая, со следами взмучивания (средние и дистальные части конусов выноса)

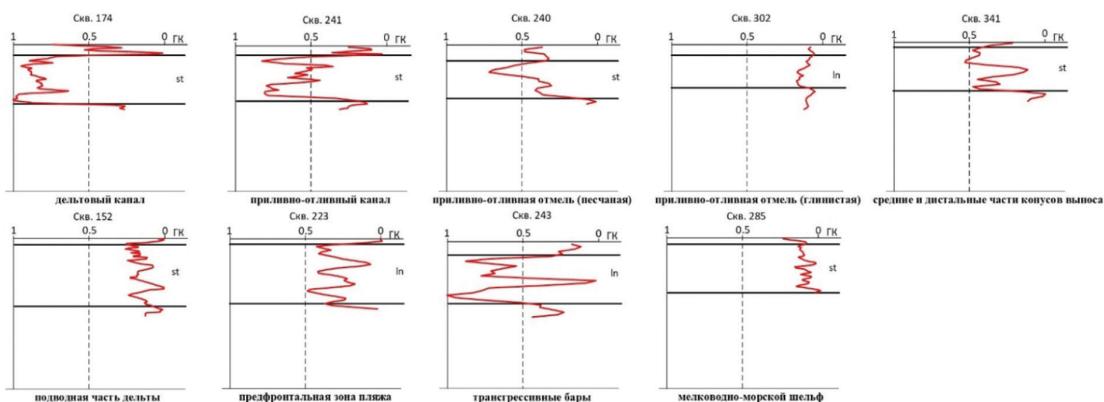


Рисунок 3 – Основные типы фаций разрезов пачек 2–9 ланско-пороцких отложений Речицкого месторождения



Рисунок 4 – Речицкое месторождение. Пороцкий горизонт.
Схематическая литолого-фациальная карта по модели приливно-отливной дельты:
1 – границы фаций; 2 – номер скважины; 3 – тектоническое нарушение

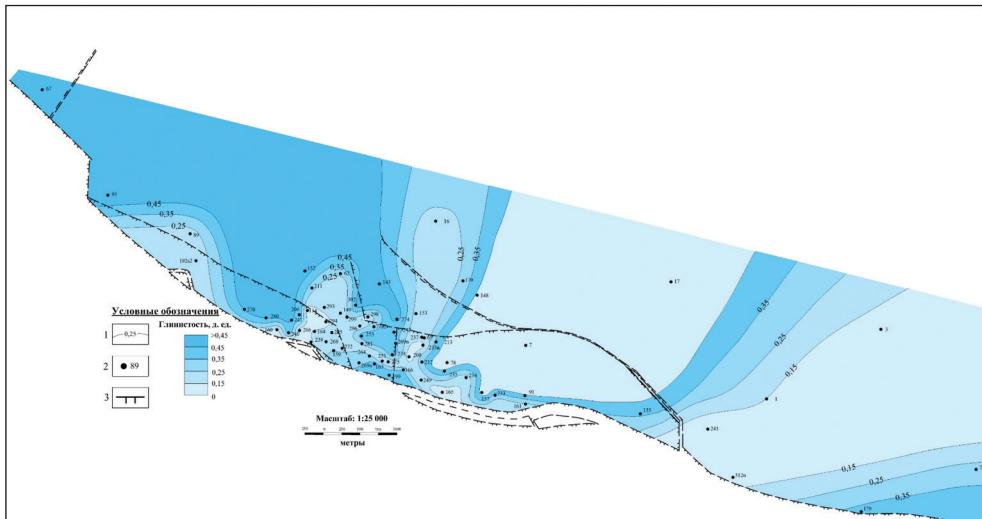


Рисунок 5 – Речицкое месторождение. Полоцкий горизонт.
Схематическая карта глинистости отложений литопачки 9:
1 – изолиния Кгл; 2 – номер скважины; 3 – тектоническое нарушение

Процесс осадконакопления в ланское время, как и в позднеполоцкое, происходил в прибрежно-морских дельтовых условиях и в условиях барьерного побережья и контролировался конседиментационным характером развития структур и расчлененностью рельефа дна бассейна седиментации, что объясняет сложную картину литологической изменчивости (рис. 6). Исходя из составленных карт мощности литопачек ланского надгоризонта, их детальной корреляции и описания, можно сделать вывод, что при повсеместном распространении по площади мощность литопачек и отдельных пластов может резко меняться на довольно коротких расстояниях, вплоть до полного их замещения. В отличие от литопачек полоцкого горизонта, песчаные пласти ланского надгоризонта часто расслаиваются глинистыми породами или замещаются алевро-песчаными и глинисто-

алевролитовыми разностями, что приводит к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств и определяет фрагментарность распространения нефтепродуктивных отложений как по площади, так и по разрезу [5].

По результатам литолого-фационального анализа, имеющегося описания кернового материала и петрографических шлифов, фациального районирования, а также данных, приведенных в опубликованной и фондовой литературе [8; 9; 11] по седиментационным исследованиям терригенных отложений, в качестве наиболее приоритетной модели осадконакопления в пределах Речицкого месторождения для изучаемых отложений принята концептуальная модель приливно-отливной дельты (по G. Einsele [11] с дополнениями Е. Ю. Барашкина [2]) (рис. 7).

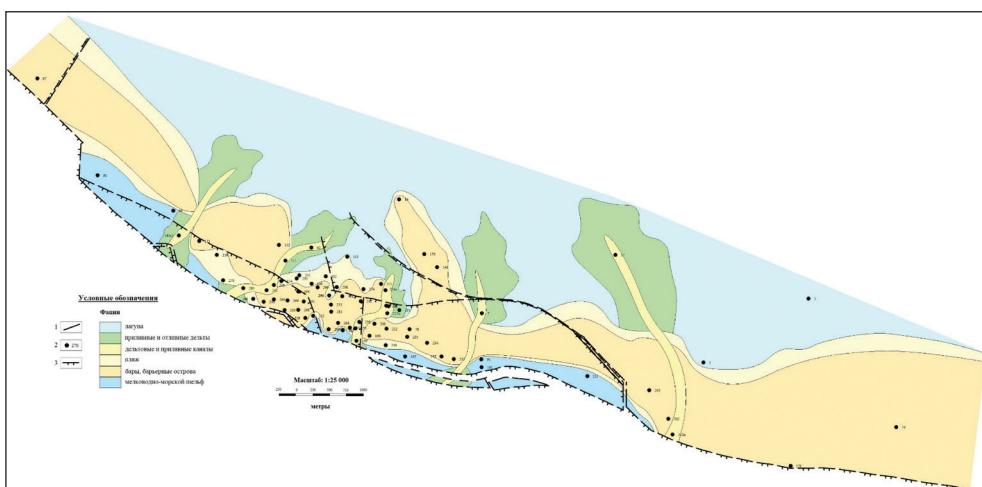


Рисунок 6 – Речицкое месторождение. Ланский надгоризонт.
Схематическая литолого-фациальная карта по модели барьерной системы:
1 – границы фаций; 2 – номер скважины; 3 – тектоническое нарушение

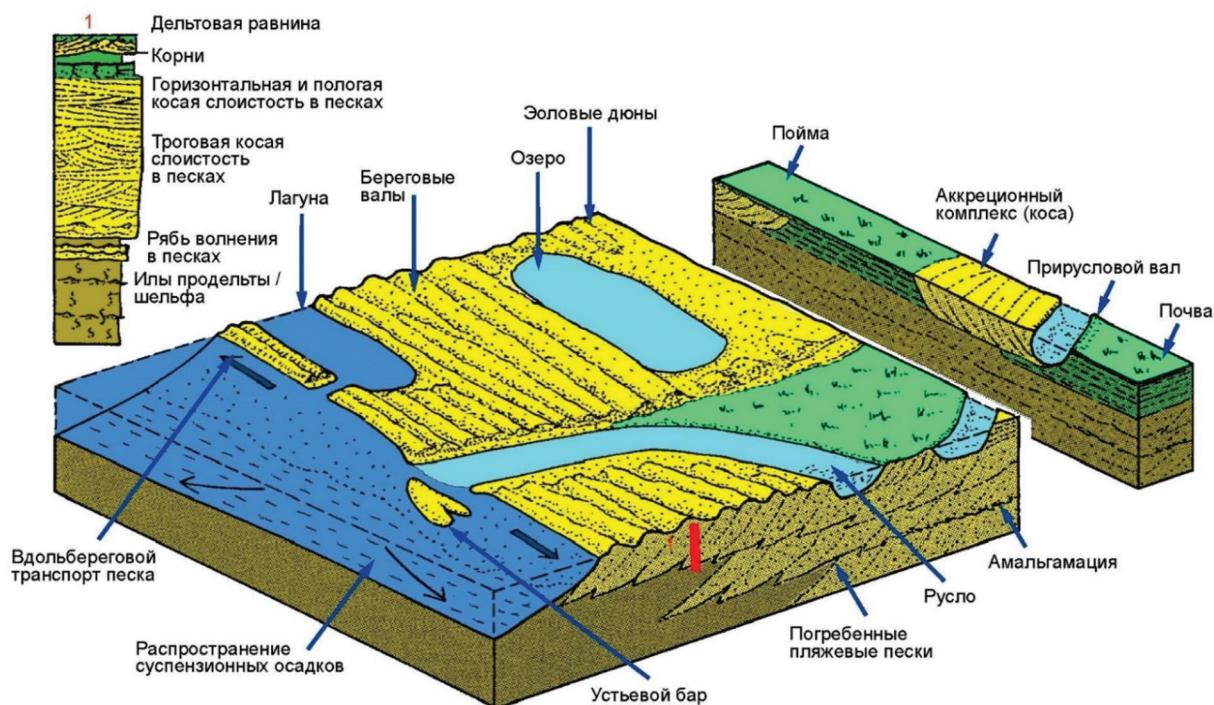


Рисунок 7 – Модель приливно-отливной дельты

В нижней части разреза ланского надгоризонта (литопачки 6–5, 4, 3) на исследуемой территории получили развитие отложения барьерной системы (по G. Einsele [11], с дополнениями Е. Ю. Барабошкина [2]) (рис. 8). В изученном разрезе полоцко-ланских отложений Речицкого месторождения установлены прибрежно-морские и мелководно-

морские обстановки осадконакопления: дельтовые каналы; приливно-отливные каналы; приливно-отливные отмели (песчаные и глинистые); средние и дистальные части конусов выноса; предфронтальная зона пляжа; трансгрессивные бары; подводная часть дельты и мелководно-морской шельф.

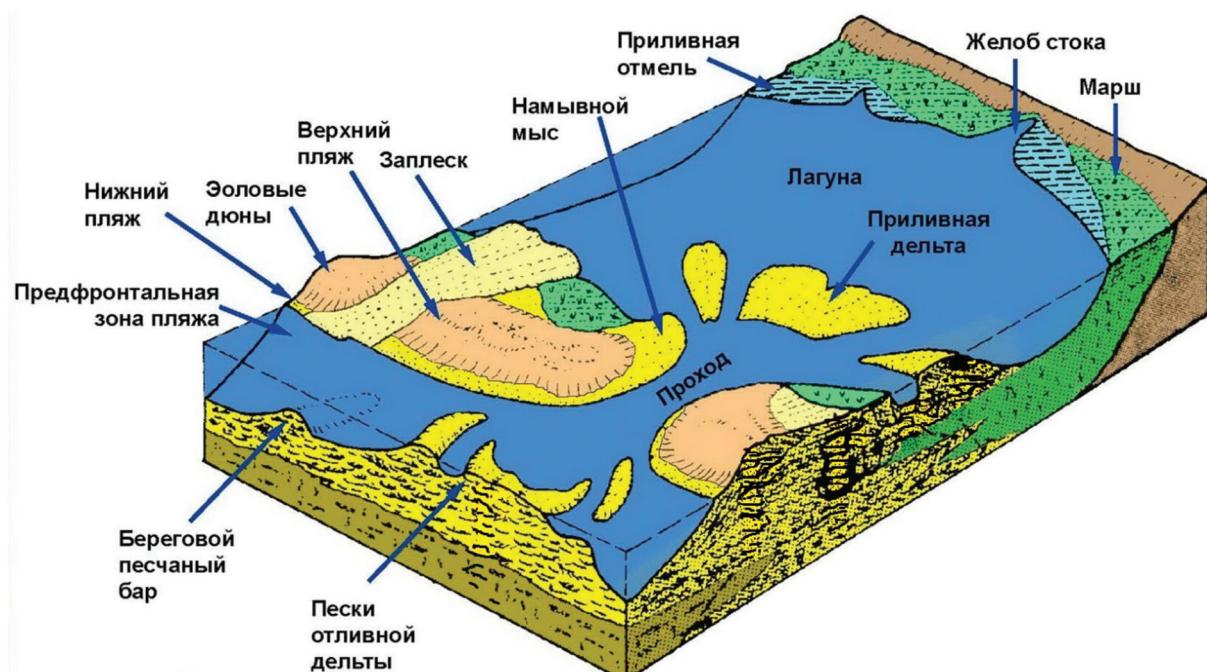


Рисунок 8 – Модель барьерного побережья

ВЫВОДЫ

По результатам литолого-фациального анализа, имеющегося описания кернового материала и петрографических шлифов, а также фациального районирования установлено, что процесс осадконакопления отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта происходил в условиях внутриплатформенного мелководного моря с сильнейшим воздействием водных потоков, стекавших с окружающих материковых областей, и контролировалось главным образом интенсивностью и направленностью конседиментационных тектонических движений и расчлененностью рельефа дна бассейна седиментации.

Терригенные отложения образовывались в прибрежно-морских дельтовых условиях и усло-

виях барьерного побережья, а также в мелководно-морских условиях – мелководно-морском шельфе. В качестве наиболее приоритетной модели осадконакопления в пределах Речицкого месторождения принята концептуальная модель приливно-отливной дельты, для нижней части разреза ланского надгоризонта – модель барьерного побережья. В изученном разрезе полоцко-ланских отложений установлены различные прибрежно-морские и мелководно-морские обстановки осадконакопления: дельтовые каналы, приливно-отливные каналы, приливно-отливные отмели (песчаные и глинистые), средние и дистальные части конусов выноса, предфронтальная зона пляжа, трангрессивные бары, подводная часть дельты и мелководно-морской шельф.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас природных резервуаров и углеводородов нефтяных месторождений Беларуси / В. Н. Бескопыльный [и др.]. – Гомель : Сож, 2009. – 216 с.
2. Барабошкин, Е. Ю. Практическая седиментология. Терригенные разрезы. Пособие по работе с керном / Е. Ю. Барабошкин. – Тверь : ГЕРС, 2011. – 152 с.
3. Бескопыльный, В. Н. Тектоническое районирование как основа прогноза остаточных перспектив нефтегазоносности Припятского прогиба / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик // Потенциал добычи горючих ископаемых в Беларуси и прогноз его реализации в первой половине XXI века : материалы междунар. науч.-практ. конф., 25–27 мая 2011 г. – Гомель : ОАО «Полесспечать», 2012. – С. 9–54.
4. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
5. Грудинин, А. С. Литолого-фациальный анализ ланского-старооскольских отложений Речицкого нефтяного месторождения / А. С. Грудинин, Е. А. Напреенко // Литосфера. – 2015. – № 2 (43). – С. 37–45.
6. Литология и коллекторские свойства подсолевых отложений Припятского прогиба / под ред.: Л. А. Демидович, Т. А. Шевченко, Ф. Я. Бенсман. – М. : Недра, 1981. – 220 с.
7. Махнач, А. А. Краткий очерк геологии Беларуси и смежных территорий / А. А. Махнач. – Минск : Беларус. навука, 2014. – 190 с.
8. Муромцев, В. С. Электрометрическая геология песчаных тел – литологических ловушек нефти и газа / В. С. Муромцев. – Ленинград : Недра, 1984. – 260 с.
9. Обстановки осадконакопления и фации : в 2 т. / под ред. Х. Рединга. – М. : Мир, 1990. – Т. 1. – 352 с.; Т. 2. – 384 с.
10. Петерсилье, В. И. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом / В. И. Петерсилье, В. И. Пороскун, Г. Г. Яценко. – М. ; Тверь : ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. – С. 10–19.
11. Einsele, G. Sedimentary basins: Evolution, facies, and sediment budget / G. Einsele. – Springer-Verlag, 2000. – 792 p.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 27.07.2023

Рэцэнзент Г. Дз. Стральцова

ЛІТОЛАГА-ФАЦЫЯЛЬНЫЯ АСАБЛІВАСЦІ БУДОВЫ ПОЛАЦКАГА ГАРЫЗОНТУ І ЛАНСКАГА НАДГАРЫЗОНТУ РЭЧЫЦКАГА НАФТАВАГА РАДОВІШЧА ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ

А. С. Грудзінін

Беларускі навукова-даследчы і праектны інстытут нафты (БелНДПІнафта)
вул. Кніжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: a.grudinin@beloil.by

Артыкул прысвечаны асаблівасцям літолага-фацыяльных умоў дэвонскіх падсолевых тэрыгенных адкладаў полацкага гарызонту і ланскага надгарызонту Рэчыцкага радовішча нафты. На падставе аналізу наяўнага апісання кернавага матэрыялу, петраграфічных шліфаў, а таксама фацыяльнага раяніравання выкананы літолага-фацыяльны аналіз, па выніках якога ўстаноўлена, што працэс асадканазапашвання тэрыгенных адкладаў адбываўся ва ўмовах унутрыплатформеннага мелководнага мора з наймацнейшым уздзеяннем водных патокаў з навакольнай сушы і кантраліваўся, галоўным чынам, інтэнсіўнасцю інакривлення канседиментацыйных тектанічных рухаў і расчляненнем рэльефу дна басейна седыментациі. У якасці найбольш прыярытэтнай мадэлі асадканазапашвання ў межах Рэчыцкага радовішча прынята канцептуальная мадэль прыліўна-адліўной дэльты, для ніжнай часткі разрэзу ланскага надгарызонту – мадэль бар'ернага ўзбярэжжа.

Ключавыя слова: Рэчыцкае нафтавае радовішча, адклады полацкага гарызонту і ланскага надгарызонту, літолага-фацыяльныя ўмовы, фацыяльнае раянаванне.

LITHOFACIAL STRUCTURE FEATURES OF THE POLOTSK HORIZON AND THE LAN' SUPERHORIZON OF THE RECHITSA OIL FIELD OF THE PRIPYAT TROUGH

A. Grudinin

Belarusian Oil Research and Design Institute (BelNIPIneft)
15b Knizhnaya St, 246003, Gomel, Belarus
E-mail: a.grudinin@beloil.by

The article is devoted to the features of the lithofacies conditions of the Devonian subsalt terrigenous deposits of the Polotsk horizon and the Lan' superhorizon of the Rechitsa oil field. Based on the analysis of the available description of core material, petrographic thin sections, as well as facial zoning, a lithofacies analysis was performed, the results of which showed that the process of sedimentation of terrigenous deposits occurred under conditions of an intraplatform shallow sea with the strongest influence of water flows from the surrounding land and was controlled mainly by the intensity and direction of synsedimentary tectonic movements and the dissected topography of the bottom of the sedimentation basin. The conceptual model of a tidal delta was adopted as the highest priority model of sedimentation within the Rechitsa field, whereas the barrier coast model was adopted for the lower part of the Lan' superhorizon section.

Keywords: Rechitsa oil field, deposits of the Polotsk horizon and Lan' superhorizon, lithofacies conditions, facies zoning.

УДК 552.578.2.061.4

ПЕРВЫЙ ОПЫТ ЗАКАЧКИ ВОДЫ В НІЗКАПРОНИЦАЕМЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ НА ПРИМЕРЕ ЕЛЕЦКО-ПЕТРИКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕЧИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. О. Цыганков, А. О. Чекан, А. А. Кудряшов

РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»
Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти
ул. Книжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь
e-mail: a.tsygankov@beloil.by, a.chekan@beloil.by, kudryashov@beloil.by

Представлен обзор мирового опыта по закачке вытесняющих агентов в низкопроницаемые коллекторы нетрадиционного типа с целью увеличения их нефтеотдачи. Отражены результаты первого промышленного опыта по закачке воды в такого типа коллекторы межсолевой толщи Припятского прогиба. Рассмотрены схемы и режимы закачки вытесняющих агентов, обозначены перспективы увеличения нефтеотдачи елецко-петриковских продуктивных отложений Речицкого месторождения нефти при организации системы поддержания пластового давления (ППД).

Ключевые слова: коллекторы нетрадиционного типа, методы увеличения нефтеотдачи, низкопроницаемые коллекторы, Речицкое месторождение.

ВВЕДЕНИЕ

Основной проблемой, возникающей при разработке залежей углеводородов с низкопроницаемыми и ультрапропроницаемыми коллекторами, является быстрое снижение начального (обычно высокого) дебита жидкости. Низкая проницаемость и высокая неоднородность фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов затрудняют фильтрацию флюида в пласте. Залежи с коллекторами подобного типа разрабатываются горизонтальными эксплуатационными скважинами с проведением многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП). Пробуренные в подобных отложениях скважины характеризуются изолированностью, а геолого-физические и гидродинамические условия вынуждают вести разбуривание подобных объектов плотной сеткой скважин с целью увеличения общей площади дренирования. Вышеизложенное приводит к непродолжительному периоду работы добывающих скважин в основном с невысокими, относительно начального, дебитами нефти. Данные обстоятельства определяют низкие значения конечного коэффициента извлечения нефти (КИН) и ставят вопрос об экономической целесообразности разработки подобных объектов. Поэтому применение методов увеличения нефтеотдачи жизненно необходимо в условиях распространения низкопроницаемых коллекторов нетрадиционного типа.

Анализ научных публикаций зарубежных изданий показал, что для увеличения нефтеотдачи в условиях распространения низкопроницаемых

коллекторов нетрадиционного типа чаще всего в качестве вытесняющего агента используются вода и газ (в основном CO_2) [6; 7; 11]. Наиболее часто встречающимися в опубликованных материалах режимами эксплуатации нагнетательных скважин являются постоянный, при котором опытная скважина используется только для закачки вытесняющего агента, а соседние – для добычи флюида (при этом известны примеры закачки вытесняющего агента как в постоянном, так и в периодическом режимах), а также режим «huff-n-puff», который заключается в проведении технологического цикла по закачке вытесняющего агента, остановке на реакцию и возобновлении добычи одной и той же скважиной [4; 5; 9]. Кроме режима закачки вытесняющего агента, важным фактором является схема закачки, которая определяется характером расположения потенциально реагирующих добывающих скважин к опытной нагнетательной. Принцип схемы заключается во взаимном расположении трещин, создаваемых при МГРП, распространяющихся субперпендикулярно (вкрест) относительно ствола скважины. Основными применяемыми на практике схемами являются параллельная, при которой горизонтальные участки стволов добывающих и нагнетательных скважин ориентированы параллельно или субпараллельно друг другу (соответственно ориентированы и создаваемые при МГРП трещины); перпендикулярная, при которой горизонтальные участки стволов добывающих и нагнетательных скважин ориентированы вкrest (рис. 1).

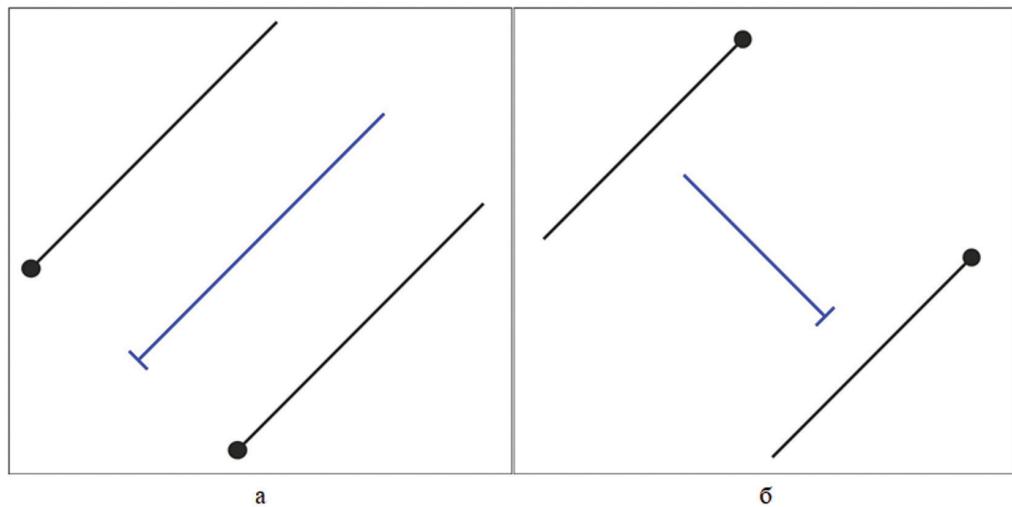


Рисунок 1 – Схема возможного размещения нагнетательных горизонтальных скважин относительно добывающих скважин: а – параллельная; б – вкрест

Анализ международного опыта по закачке вытесняющего агента в низкопроницаемых коллекторах нетрадиционного типа при разных режимах закачки показал, что:

известны примеры эффективных опытных работ по организации закачки вытесняющего агента (как воды, так и газа), в условиях распространения низкопроницаемых коллекторов нетрадиционного типа [4–6; 9; 11];

основной проблемой закачки вытесняющего агента является его быстрый (чаще всего в первый же месяц) прорыв к забоям соседних добывающих скважин [4; 5; 7–9];

главным негативным фактором при использовании параллельной схемы размещения нагнетательных и добывающих скважин является быстрое обводнение последних вследствие сообщения созданных при МГРП трещин [6; 7; 10; 12; 13];

главным негативным фактором при использовании схемы размещения нагнетательных и добывающих скважин вкрест друг к другу является отсутствие влияния закачки на добывающие скважины, при этом как при параллельной, так и при схеме расположения скважин вкрест отмечались как эффективные, так и неэффективные результаты опытно-промышленных работ [10; 12; 13];

регулирование объемов и давления закачки является главным фактором предотвращения преждевременного прорыва воды к добывающим скважинам при любом режиме закачки [10; 12; 13];

в среднем эффект от закачки вытесняющего агента отмечается по соседним добывающим скважинам через 7–8 месяцев (до полутора лет) в зависимости от режима закачки при расстоянии от опытной нагнетательной до соседних добывающих скважин 200–400 м [10; 12; 13];

опыт закачки газа и воды в низкопроницаемые коллекторы нетрадиционного типа США, Канады и Китая указывает на то, что при проницаемости отложений ниже 0,5 мД наиболее эффективным агентом будет углекислый газ [6–8];

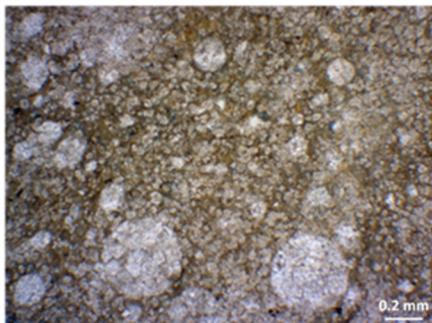
по результатам реализованных опытно-промышленных работ средний прирост КИН составляет 10–12 %, при этом результаты геолого-гидродинамического моделирования прогнозируют прирост на уровне 15–20 % [6–8; 10; 12; 13].

В настоящее время в пределах Припятского прогиба отсутствует инфраструктура, необходимая для закачки газа, для строительства которой необходимы значительные капиталовложения, а также доступный или близкий по расположению источник углекислого газа. В то же время наложенная инфраструктура, доступность, отсутствие необходимости в значительных дополнительных капиталовложениях, а также наличие международного опыта с эффективными примерами, по мнению авторов, делает воду наиболее подходящим агентом увеличения нефтеотдачи в условиях распространения низкопроницаемых коллекторов нетрадиционного типа елецко-петрковских отложений Речицкого месторождения.

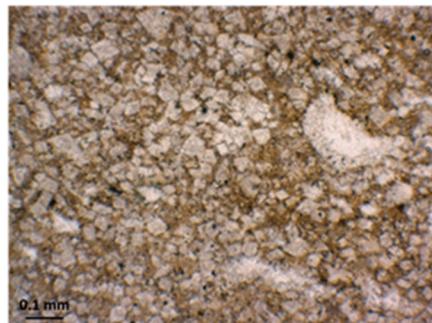
ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЙ.

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ

Объектом исследований являются елецко-петрковские отложения Речицкого месторождения (I–III пачки), которые представлены доломитами известково-кремнистыми, породами смешанного глинисто-карбонатно-кремнистого состава, реже известняками глинисто-доломитистыми с неравномерно тонкослоистой, линзовидной, интракластовой, пятнистой текстурой (рис. 2).



Реликты радиолярий, замещенные доломитом в кремнисто-карбонатном цементе (шлиф 328/127)



Доломит известковистый кремнистый мелкокристаллический (шлиф 328/4)



Спікула губки в известняке глинистом редкими тонкими межзеренными порами (шлиф 328/109)



Микротрещина, выполненная битумоидом, в доломите кремнистом, кристаллическом (шлиф 328/61)

Рисунок 2 – Микрофотографии шлифов по керну из скважины № 328 Речицкой (отложения I–III пачек)

По минеральному составу елецко-петриковские отложения относятся к глинисто-кремнисто-карбонатным породам. Среднее содержание в породе доломита – 42 %, кальцита – 27 %, кварца – 16 %, глинистых минералов – 9 %.

Особенностью отложений является изменение состава по разрезу снизу-вверх: от преобладания кальцита (до 86 %) по III пачке до преобладания доломита (44 %) и кварца (26 %) по I пачке. Наблюдается уменьшение содержания глинистых минералов от III к I пачке с 14 % до 9 %. Преобладает межзерновой тип пористости, при этом 80 % пор фактически являются субкапиллярными (размер меньше 15 мкм), что позволяет относить елецко-петриковские нефтенасыщенные отложения Речицкого месторождения к низкопроницаемым коллекторам нетрадиционного типа. Среднее значение пористости составляет 10,81 %. Модальное значение эффективной пористости относительно открытой смещено с 15 до 5 % за счет сложной структуры порового пространства и высокого содержания связанной воды. Проницаемость матрицы породы в среднем составляет 0,44–1,04 мД и увеличивается вверх по разрезу. По результатам пиролитических исследований, среднее содержание органического вещества (ТОС) в отложениях I–III пачек составляет 1,58 % (0,24–8,14 %), газо-

образных и жидких УВ (S_0+S_1) – 3,86 (0,01–28,59) мг УВ/г породы, керогена и тяжелых УВ (S_2) – 6,85 (0,06–54,01) мг УВ/г породы, индекс продуктивности (PI) – 0,24 (0,02–0,7), индекс нефтенасыщенности (OSI) – 149 (2–555) мг УВ/ТОС. Углеводороды в отложениях I–III пачек имеют смешанный состав – частично связаны с нефтематеринскими породами (аутогенной генерацией), не исключена миграция углеводородов из нижележащих отложений [1].

Таким образом, существенной особенностью отложений I–III пачек Речицкого месторождения является изменение минералогического состава, а следовательно, и фильтрационно-емкостных свойств по разрезу.

Объект разработки – залежь нефти I–III пачек елецко-петриковских отложений Речицкого месторождения – активно разбуривается: в 2014–2015 гг. были построены две горизонтальные оценочные скважины в восточной и западной частях объекта (скважины № 310g и № 292g) с протяженностью горизонтальной части ствола до 500 м, результаты ввода и эксплуатации которых подтвердили промышленные скопления нефти в описываемых отложениях и возможность их разработки [2; 3]. Результаты выполнения комплексных работ по изучению елецко-петриковских отложений (лабораторные

исследования керна, в том числе геохимические и геомеханические, работы по транзитному фонду скважин и др.) стали основанием для активизации работ на изучаемом объекте: за период 2020–2022 гг. построено 10 эксплуатационных скважин с протяженностью горизонтальной части ствола 1000–1500 м (до 2100 м). На 2023–2025 гг. запланирован ввод еще 47 скважин. Ниже представлена краткая информация о текущем состоянии и проблемах разработки елецко-петриковской залежи нефти (I–III пачки) Речицкого месторождения.

По состоянию на 01.08.2023 объект разрабатывается 16 добывающими скважинами. Подавляю-

щее большинство действующих скважин пробурены в пределах отложений петриовского горизонта (I пачка, реже I–II пачки).

Основной проблемой разработки изучаемого объекта является быстрое снижение начального дебита жидкости по добывающим скважинам (за первые месяцы эксплуатации). Из графиков на рисунке 3 видно, что, например, по скважинам западного участка начальный дебит жидкости снижается на 40–50 % в первые 30–40 дней работы скважин, за первые 60–70 дней – на 60–70 %.

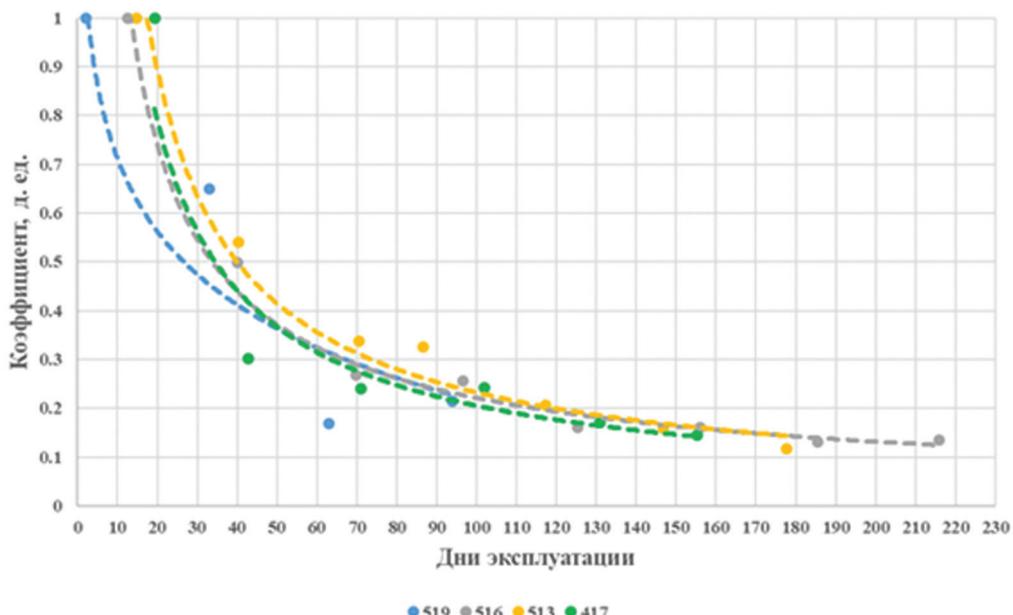


Рисунок 3 – Темп падения дебита жидкости по добывающим скважинам западного участка объекта разработки

Подобное снижение дебита жидкости характерно для скважин, пробуренных в условиях распространения низкопроницаемых коллекторов нетрадиционного типа, вследствие ограниченности зоны дренирования скважины из-за низких значений ФЕС и их высокой неоднородности. Описанная проблема является главной причиной низкого значения КИН.

Еще одной проблемой является гидродинамическая связь рассматриваемого объекта со смежными залежами. Многопластовое строение Речицкого месторождения при небольшой мощности перемычек (от первых десятков до сотни метров) обуславливает риск прорыва трещин, создаваемых при МГРП, в вышележащие (лебедянские) и нижележащие (IV пачка задонского горизонта) продуктивные отложения. При сравнении значений вертикальных глубин до нижней границы закрепленной трещины

ГРП и вертикальной глубины до коллекторов отложений IV пачки задонского горизонта установлена вероятность внедрения трещин, создаваемых при МГРП, в продуктивные отложения нижележащей залежи на 20–100 м. Прорыв трещин в выработанные (обводненные) периферийные участки нижележащей залежи может обеспечивать поступление воды к скважинам, эксплуатирующим елецко-петриковские отложения.

Для подтверждения данной гипотезы в 2022 г. были выполнены работы по трассированию фильтрационных потоков с закачкой раствора индикатора (роданид аммония, нитрит натрия, карбамид) в нагнетательные скважины № 12, 29 и 64 задонской залежи нефти (IV пачка). Отбор проб осуществлялся по скважинам № 424g, 467g, 513g, 519g и 516g2, эксплуатирующими елецко-петриковскую залежь. По результатам исследований установлено

присутствие индикатора в пробах скважин № 513g, 516g2, 424g и 467g, что подтвердило наличие гидродинамической связи между двумя объектами разработки посредством трещин, созданных при МГРП. Данная проблема разработки оказывает негативное влияние в виде преждевременного обводнения добывающих скважин, что также ведет к снижению конечного значения КИН.

При прохождении скважинами отложений боричевских слоев лебедянского горизонта отмечались осложнения при бурении в виде проявлений (например, выход фильтрата бурового раствора), вызванных превышением фактического пластового давления над гидростатическим. Неоднократно отмечался рост статических уровней в контрольных скважинах лебедянской залежи при выполнении МГРП в соседних скважинах петриковского горизонта, что указывает на потенциальное наличие гидродинамической связи продуктивных отложений I-III пачек с вышележащей лебедянской залежью.

Проблемой разработки залежи I–III пачек также является довольно высокая обводненность по добывающим скважинам, которая обусловлена, преимущественно, большими объемами закачки жидкости разрыва при освоении скважин (от 7 до 34 тыс. м³ на скважину). Так, скважины вступают в работу с обводненностью от 30 до 95 %, однако снижение обводненности в процессе эксплуатации происходит не всегда.

Особенности разработки залежей нефти с низкокарбонатными коллекторами нетрадиционного типа, которые проявляются в резком снижении начальных дебитов жидкости в добывающих скважинах

нах (из-за ограниченности энергетики по причине низких ФЕС и их высокой неоднородности, приводящей к низким значениям конечного коэффициента извлечения нефти) и необходимости уплотнения сетки добывающих скважин с целью увеличения общей площади дренирования, требуют применения методов увеличения нефтеотдачи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЗАКАЧКИ ВОДЫ

Как отмечалось выше, экономически обоснованным вытесняющим агентом для условий Речицкого месторождения, имеющим примеры эффективного применения за рубежом, является вода. Пилотным проектом по закачке воды в низкопроницаемые коллекторы нетрадиционного типа стала ранее добывающая скважина № 310g Речицкая, эксплуатировавшая отложения петриковского горизонта (I пачка). Опытно-промышленные работы выполнялись в период с июля 2022 г. по июнь 2023 г.

В июле 2022 г. скважина № 310g была переведена под закачку воды с приемистостью 230–260 м³/сут при давлении нагнетания 22–23 МПа. Ствол скважины № 310g ориентирован вкрест простирания горизонтальных стволов соседних добывающих скважин (рис. 4).

За указанный период в скважину № 310g закачано 42,87 тыс. м³ воды. С целью оценки влияния закачки воды в скважину № 310g на соседние добывающие скважины анализировалась динамика дебита жидкости, давления на приеме насоса и обводненности в этих скважинах, а также были выполнены работы по трассированию фильтрационных потоков (рис. 5).

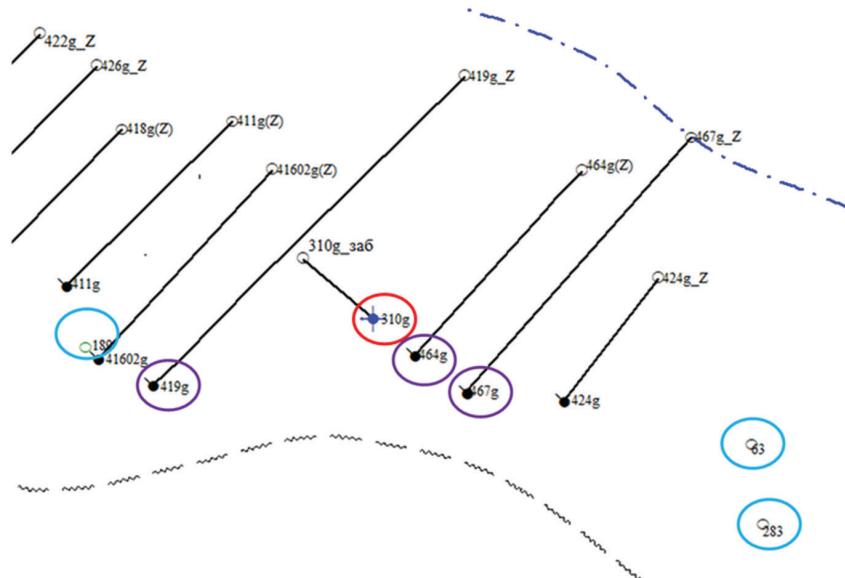


Рисунок 4 – Карта-схема размещения скважин, участвовавших в трассерных исследованиях (красный цвет – нагнетательная скважина, в которую качался трассер; фиолетовый цвет – скважины I пачки, по которым отбирали пробы; голубой цвет – скважины IV пачки, по которым отбирали пробы)

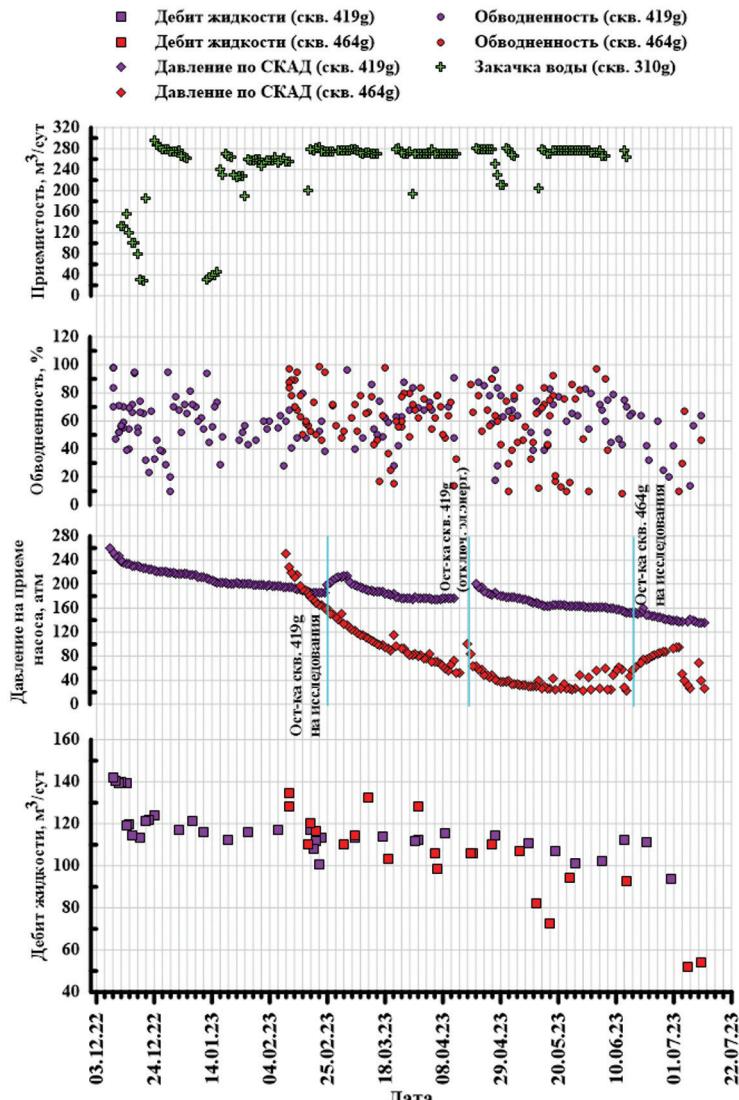


Рисунок 5 – График зависимости показателей работы добывающих скважин № 419g и 464g от закачки воды в скважину № 310g

Как видно из графиков, представленных на рисунке 5, по добывающей скважине № 464g отмечается снижение дебита жидкости с начального 135 м³/сут до текущего 54 м³/сут за шесть месяцев работы. Давление на приеме насоса снизилось с 250 до 26 атм. В июне 2023 г. по скважине № 464g отмечен рост давления на приеме насоса с 25–30 до 90–95 атм, что связано с остановкой скважины на исследования.

По скважине № 419g также отмечается снижение дебита жидкости и давления на приеме насоса, однако, в сравнении со скважиной № 464g, степень снижения указанных параметров заметно ниже (см. рис. 5). Можно утверждать о некоторой зависимости обводненности и темпов снижения давления на приеме насоса ($P_{СКАД}$) от объемов закачки воды в скважину № 310g Речицкую. Так при снижении месячных объемов закачки воды в скважину № 310g Речицкую с 6256 м³ (май 2023 г.) до 2167 м³ (июнь

2023 г.) наблюдается снижение текущей обводненности (более отчетливо это видно в период остановки закачки воды), а также увеличении темпа снижения давления на приеме насоса.

Характер обводненности добываемой по обеим соседним скважинам продукции нестабильный и изменяется в пределах 20–90 %. На хаотичный характер обводненности, помимо прочего, оказывают влияние технологические обработки затрубного пространства, которые выполняются по обеим скважинам (10 м³ горячей воды по 2–3 раза в месяц).

С целью определения природы воды, выполнен химический анализ проб, отобранных в скважинах № 419g и 464g. Исходя из результатов химического анализа проб, вода по скважине № 419g представляет собой пластовый рассол, а по скважине № 464g преимущественно воду, закачиваемую для поддержания пластового давления (табл. 1).

Таблица 1 – Заключения по природе попутно добываемых вод

№ скважины	Дата отбора	Заключение
419g Речицкая	06.01.2023	Пластовый рассол
464g Речицкая	05.04.2023	Смесь закачиваемой для ППД воды (около 75 %) и пластовых рассолов (около 25 %), обогащенная NaCl

В мае – июне 2023 г. по нагнетательной скважине № 310g выполнялись работы по трассированию фильтрационных потоков с целью оценки влияния нагнетательной скважины № 310g на соседние добывающие скважины и выявления гидродинамической связи между елецко-петриковскими отложениями (I–III пачки) и залежью нефти задонского горизонта (IV пачка).

В скважину № 310g было закачано 10 м^3 раствора индикатора (10 м^3 пресной воды, нитрит натрия – 0,5 т). Отбор проб осуществлялся из соседних скважин залежи I–III пачек № 419g, 464g, 467g, 513g и 516g2, а также из скважин нижележащей задонской залежи (IV пачка): № 63, 189, 283 (см. рис. 4). За период исследований, который длился 41 сут, через добывающие скважины получено 6,28 кг нитрита натрия, что составляет 1,26 % от объема закачанного в скважину № 310g индикатора.

По результатам выполненных исследований установлено, что 99,4 % от отобранного объема трассера поступает в скважину № 419g, 0,6 % – в скважину № 516g2. В скважинах № 464g, 467g, 513g (I–III пачки), 63, 189 и 283 (IV пачка) трассер не выявлен. Представленные результаты показывают на существенное влияние нагнетательной скважины № 310g на соседнюю добывающую скважину № 419g и подтверждают вышеизложенные предположения, выдвинутые на основе динамики показателей работы скважины № 419g.

ВЫВОДЫ

Изученный мировой опыт организации закачки вытесняющего агента с целью повышения нефтеотдачи в условиях залежей с низкопроницаемыми коллекторами нетрадиционного типа различных регионов мира показал принципиальную возможность закачки воды с получением эффекта, выраженного в дополнительной добыче нефти.

В настоящее время на елецко-петриковском объекте разработки Речицкого месторождения нефти реализуются опытно-промышленные работы по закачке воды в скважину № 310g с целью увеличения нефтеотдачи в условиях низкопроницаемых коллекторов нетрадиционного типа. Реализуемая схема закачки – вкрест простирации соседних добывающих скважин. Режим закачки постоянный. По состоянию на 01.08.2023 по соседним добывающим скважинам не отмечается роста дебита жидкости. Потенциальное влияние проявляется по косвенным

признакам, в виде снижения уровня текущей обводненности и давления на приеме насоса в соседней добывающей скважине № 419g в периоды остановки опытной скважины № 310g.

Результаты выполненных работ по трассированию фильтрационных потоков также указывают на продвижение закачиваемой в скважину № 310g воды к добывающей скважине № 419g. Поступление закачиваемой воды к этой скважине без явного роста ее эксплуатационных параметров, которые могут указывать на влияние от нагнетания (рост дебита жидкости, давления на приеме насоса, пластового давления, текущей обводненности), может объясняться ограниченным охватом продуктивного пласта вытеснением вследствие большой протяженности горизонтальной части ствола скважины № 419g (2114 м), что при схеме размещения вкрест простирания относительно нагнетательной скважины обеспечивает потенциальное влияние только на ограниченное количество портов, а большая часть ствола не участвует в этом процессе. Отбор флюида по скважине № 310g компенсирован закачкой воды в нее же на 400 % (с учетом закачанного объема жидкости разрыва при МГРП и повторных МГРП). Ежемесячные отборы жидкости по скважине 419g ($\approx 3300 \text{ м}^3/\text{мес.}$) также компенсируются закачкой воды в скважину № 310g ($5500\text{--}6500 \text{ м}^3/\text{мес.}$) на 170–200 %, поэтому существует необходимость выполнения промыслового-геофизических исследований для установления работающих интервалов и уточнения источников поступления воды в добывающие скважины.

Таким образом, результаты вышеописанных работ по скважине № 310g свидетельствуют о продвижении основных объемов закачиваемой воды в западном направлении, в сторону скважины № 419g, что объясняется близким расположением скважин (менее 80 м в плане). В соседней скважине № 464g, расположенной восточнее скважины № 310g, трассер не выявлен. Расстояния между этими скважинами в плане около 260 м.

Анализ мирового опыта закачки воды в породы-коллекторы нетрадиционного типа показывает, что оптимальным расстоянием между нагнетательной и добывающей скважинами является 200–400 м при параллельной схеме закачки. При схеме закачки вкрест простирации горизонтальных стволов скважин вероятность сообщения трещин ГРП значительно ниже, а значит, для получения эффекта от закачки воды необходимо меньшее расстояние. Несмотря на

то, что в скважине № 464g не был выявлен трассер, текущая обводненность добываемой продукции для низкопроницаемого коллектора довольна высока (начальная обводненность 77,3 %, текущая – 46,2 % при снижении начального дебита жидкости со 131 т/сут до 46 т/сут), а химический анализ проб воды показывает близкий состав к воде, закачиваемой для поддержания пластового давления. Принимая во внимание результаты работ по трассированию фильтрационных потоков, выполненных в 2022 г. на залежи нефти IV пачки задонского горизонта с отбором проб в добывающих скважинах вышележащих отложений I–III пачек, можно полагать, что основным источником обводнения скважины № 464g является вода, закачиваемая для поддержания пластового давления на залежи нефти IV пачки задонского горизонта, а не нагнетательная скважина № 310g. Результаты работ по трассированию показали, что наиболее активная связь между двумя объектами разработки (по трещинам ГРП) отмечается в восточной части площади, где и расположена скважина № 464g, по которой в тот момент контрольные пробы не отбирались ввиду недавнего ввода скважины в эксплуатацию. При выполнении работ по трассированию в скважине № 310g отбор проб в соседних добывающих скважинах второго ряда западнее скважины № 310g (№ 41602g и 411g) не выполнялся, поэтому судить о степени продвижения фронта нагнетания в западном направлении не представляется возможным, однако, учитывая значительные расстояния для выбранной схемы закачки, продвижение воды западнее скважины № 419g представляется маловероятным. Трассер в добывающих скважинах нижележащей залежи отмечен не был, что указывает на отсутствие гидродинамической связи между двумя объектами в районе расположения скважины № 310g. В целом результаты исследований указывают на то, что скважина № 310g не является главным источником высокой текущей обводненности по соседним добывающим скважинам (45–90 %).

Нетипичный для нетрадиционных коллекторов уровень обводненности объясняется комплексом факторов. Во-первых, при освоении эксплуатационных скважин закачиваются большие объемы жидкости разрыва (от 7 до 34 тыс. м³). При этом по состоянию на 01.08.2023 по большинству действующих добывающих скважин не отобран закачанный при освоении объем жидкости разрыва, что затрудняет

анализ природы воды. Во-вторых, поступление воды в отложения I–III пачек происходит из нижележащих отложений. Так, в скважинах № 424g и 467g по данным трассирования фильтрационных потоков установлено поступление воды, закачиваемой для ППД в IV пачку задонского горизонта. Не исключено также поступление воды из вышележащих боричевских слоев лебедянского горизонта, где закачка воды осуществляется в нагнетательные скважины № 153s2 и 117s2, что, однако, требует подтверждения дальнейшими исследованиями. Определение источников поступления воды позволит разработать и осуществить комплекс мер, направленных на снижение уровня обводненности или его стабилизацию, что приведет к увеличению конечного КИН.

Несмотря на приобретенный фактический опыт организации закачки воды в белорусские низкопроницаемые коллекторы нетрадиционного типа, у специалистов пока не сложилось однозначного представления о влиянии единственной нагнетательной скважины на соседние добывающие. Вместе с этим получено понимание того, что для эффективного управления системой разработки подобных объектов (регулирования объемов нагнетания воды и обеспечения максимального охвата пласта вытеснением) необходим комплекс мер контроля за эффективностью закачки воды, включающий наземный сейсмический мониторинг процесса заvodнения, проведение промыслового-геофизических исследований по определению принимающих интервалов в нагнетательных скважинах и работающих интервалов в добывающих скважинах.

Продолжающийся активный ввод новых горизонтальных добывающих скважин по всей продуктивной площади объекта разработки низкопроницаемых коллекторов нетрадиционного типа требует создания стратегии организации закачки воды по всей его площади. В данный момент организация мероприятий по увеличению нефтеотдачи елецко-петриковских отложений Речицкого месторождения находится на начальной стадии, однако уже получен первый собственный опыт, подтверждающий возможность закачки воды в подобные отложения. Опробование в обозримом будущем разных схем и режимов закачки в совокупности с комплексом промысловых исследований обозначает перспективы увеличения нефтеотдачи по елецко-петриковской залежи Речицкого месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряшов, А. А. Результаты комплексного изучения нетрадиционных коллекторов и первая попытка их освоения [Электронный ресурс] / А. А. Кудряшов // Proceedings of the SPE Eastern Europe Subsurface Conference, Киев, 23–24 нояб. 2021. – Режим доступа: <https://doi.org/10.2118/208524-MS>. – Дата доступа: 16.08.2023.

2. **Повжик, Г. П.** Состояние и перспективы освоения нетрадиционных ресурсов нефти I–III пачек девонского межсолевого комплекса Припятского прогиба (Речицкое месторождение) / Г. П. Повжик, А. А. Кудряшов, А. О. Цыганков // Літасфера. – 2020. – № 2 (53). – С. 150–157.
3. **Цыганков, А. О.** Совершенствование подходов в разработке коллекторов нетрадиционного типа в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» / А. О. Цыганков, А. А. Кудряшов // Современные проблемы машиноведения : сб. науч. тр. : в 2 ч. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2023. – Ч. 2. – С. 185–188.
4. **Alfarge, D.** IOR Methods in Unconventional Reservoirs of North America: Comprehensive Review [Electronic resource] / D. Alfarge, M. Wei, B. Bai // Proceedings of the 2017 SPE Western Regional Meeting, Bakersfield, California, USA, 23 April 2017. – Mode of access: <https://doi.org/10.2118/185640-MS>. – Date of access: 18.08.2023.
5. **Ganesh, T.** Enhanced Recovery Technologies for Unconventional Oil Reservoirs / T. Ganesh // Journal of petroleum technology. – 2019. – Vol. 71, Iss. 09. – P. 66–69.
6. **Hoffman, B.** Improved Oil Recovery IOR Pilot Projects in the Bakken Formation [Electronic resource] / B. Hoffman // Proceedings of the SPE Low Perm Symposium, Denver, Colorado, USA, 5–6 May 2016. – Mode of access: <https://doi.org/10.2118/180270-MS>. – Date of access: 18.08.2023.
7. **Hoffman, B.** Huff-N-Puff Gas Injection Pilot Projects in the Eagle Ford [Electronic resource] / B. Hoffman // Proceedings of the SPE Canada Unconventional Resources Conference, Calgary, Alberta, Canada, 13–14 March 2018. – Mode of access: <https://doi.org/10.2118/189816-MS>. – Date of access: 18.08.2023.
8. **Li, L.** Bakken Roadmap : Final Report / L. Li, S. Li. – Regina : Petroleum Technology Alliance Canada, 2015. – 96 p.
9. **Recent Advances in Enhanced Oil Recovery Technologies for Unconventional Oil Reservoirs** [Electronic resource] / S. Balasubramanian [et al.] // Proceedings of the Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, 30 April – 3 May 2018. – Mode of access: <https://doi.org/10.4043/28973-MS>. – Date of access: 19.08.2023.
10. **Roostapour, A.** Optimizing Tight Oil Assets on Water Flood Utilizing Polymer GelTechnology; A Cost-Effective Approach with High Rate of Success [Electronic resource] / A. Roostapour, N. Champion, M. Qaid // Proceedings of the SPE Improved Oil Recovery Conference, 31 August – 4 September 2020. – Mode of access: <https://doi.org/10.2118/200401-MS>. – Date of access: 19.08.2023.
11. **Sheng, J. J.** Enhanced Oil Recovery in Shale and Tight Reservoirs / J. J. Sheng. – USA : Gulf Professional Publishing, 2019. – 538 p.
12. **Wagia-Alla, A.** Longitudinal Fracturing in a Mature Permian Waterflood: A Case Study [Electronic resource] / A. Wagia-Alla, R. Roach, J. El-Azzi // Proceedings of the SPE Improved Oil Recovery Conference, Tulsa, Oklahoma, USA, 14–18 April 2018. – Mode of access: <https://doi.org/10.2118/190208-MS>. – Date of access: 19.08.2023.
13. **Wood, T.** Waterflood potential could unlock billions of barrels / T. Wood, B. Milne. – Toronto : Dundee capital markets, Dundee Securities ltd, 2011. – 12 p.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 22.08.2023

Рэцэнзент В. Дз. Парошын

**ПЕРШЫ ВОПЫТ ЗАПАМПОЎВАННЯ ВАДЫ Ў НІЗКАПРАНІКАЛЬНЫЯ КАЛЕКТАРЫ
НЕТРАДЫЦЫЙНАГА ТЫПУ ДЛЯ ПАВЕЛЧЭННЯ НАФТААДДАЧЫ
НА ПРЫКЛАДЗЕ ЯЛЕЦКА-ПЕТРЫКАЎСКИХ АДКЛАДАЎ РЭЧЫЦКАГА РАДОВІШЧА**

А. А. Цыганкоў, А. А. Чэкан, А. А. Кудрашоў

РУП «Вытворчае аб'яднанне «Беларуснафта»
Беларускі навукова-даследчы і праектны інстытут нафты
вул. Кніжная, 156, 246003, г. Гомель, Беларусь
e-mail: a.tsygankov@beloil.by, a.chekan@beloil.by, kudryashov@beloil.by

Прадстаўлен аглыд сусветнага вопыта па запампоўванню выцясняльных агентаў у нізкапранікальныя калектары нетрадыцыйнага тыпу з мэтай павелчэння іх нафтааддачы. Адлюстраваны вынікі першага прымысловага вопыту па запампоўванню вады ў такога тыпу калектары міжсалявой тоўшчы Прывіцца-гарага прагіна. Разгледжаны схемы і рэжымы запампоўвання выцясняльных агентаў, пазначаны перспектывы

павелічэння нафтааддачы ялецка-петрыкаўскіх прадуктыўных адкладаў Рэчыцкага радовішча нафты пры арганізацыі сістэмы падтрымліванія пластовага ціску (ППД).

Ключавыя слова: калектары нетрадыцыйнага тыпу, метады павелічэння нафтааддачы, нізкапранікальныя калектары, Рэчыцкае радовішча.

FIRST EXPERIENCE OF WATER INJECTION IN LOW-PERMEABILITY NON-CONVENTIONAL RESERVOIRS IN THE EXAMPLE OF ELETSKO-PETRIKOVSKIE DEPOSITS OF RECHITSA OIL FIELD

A. Tsyhankou, A. Chekan, A. Kudrashou

State Production Association «Belarusneft»
Belarussian Scientific Research and Design Institute of Oil
15b Knizhnaya St, Gomel, 246003, Belarus
E-mail: a.tsygankov@beloil.by, a.chekan@beloil.by, kudryashov@beloil.by

A review of world experience in the injection of displacing agents into low-permeability unconventional reservoirs in order to increase their oil recovery is presented. The results of the first field experiment on the water injection into reservoirs of such type of the inter-salt strata of the Pripyat trough are reflected. Schemes and modes of injection of displacing agents are presented, prospects for increasing oil recovery from the Yelets-Petrikov productive deposits of the Rechitsa oil field are outlined and organizing a reservoir pressure maintenance system.

Keywords: unconventional reservoirs, enhanced oil recovery methods, low-permeability reservoirs, Rechitsa oil field.

ПАПУЛЯРЫЗАЦЫЯ ГЕАЛОГII

УДК 551+373.3/.5+069.01/.4

ОПЫТ СОЗДАНИЯ УЧЕБНОЙ КОЛЛЕКЦИИ МИНЕРАЛОВ, ГОРНЫХ ПОРОД И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ ДЛЯ ШКОЛЬНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ В ГОРОДЕ МИНСКЕ

К. Ю. Балашов¹, А. М. Балашова²

¹Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: balashovkj@gmail.com

²Открытое акционерное общество «Белгорхимпром»,
пр. Машерова, 17, 220029, Минск, Беларусь

В статье приводятся результаты работы по созданию учебной коллекции минералов и горных пород в геологическом музее ГУО «Гимназия № 5 г. Минска имени героев встречи на Эльбе» с целью популяризации геологических знаний среди преподавателей и учащихся, а также для формирования у учащихся научного мировоззрения и уважительного отношения к памятникам геологического наследия.

Ключевые слова: геологический музей, музейная экспозиция, учебная коллекция, минералы, горные породы, экспонаты.

ВВЕДЕНИЕ

В целом в школах на современном этапе развития образования геологии как одной из фундаментальных и прикладных наук, тесно связанной с другими естественными науками, уделяется незаслуженно и необоснованно мало внимания. В большинстве учреждений образования для учащихся не устраивают экспедиции, походы и экскурсии на местности, именно поэтому многие из них не понимают, какие минералы и горные породы слагают Землю и насколько они важны в жизни человека. Это связано, с одной стороны, с отсутствием либо плохой специальной геологической подготовкой учителей, с другой – с плохой оснащенностью учебного процесса.

За годы работы в научных и производственных учреждениях, а также по результатам собственных экспедиций по территории Республики Беларусь авторами статьи был собран большой объем образцов минералов, горных пород и палеонтологических остатков. Основываясь на собственном опыте, в 2022 г. было принято решение передать накопленный геологический материал в одну из школ города Минска с целью создания в ее геологическом музее учебной коллекции минералов и горных пород. Таким учебным заведением стало ГУО «Гимназия № 5 г. Минска имени героев встречи на Эльбе». Выполнив работу, авторы статьи смогли закрыть потребность в приближении наглядного материала (учебной геологической коллекции) к своим непосредственным потребителям – учащимся школ.

Целью создания учебной коллекции является учебно-образовательная и научно-просветительская

работа, способная вызвать интерес к геологии и в целом к наукам о Земле среди преподавателей и учащихся. Экспозиция геологического музея должна способствовать формированию у учащихся научного мировоззрения и уважительного отношения к памятникам геологического наследия [3; 5].

Немаловажным фактором и своеобразной мотивацией создания музея являлось повышение статуса геологии как науки через популяризацию геологических знаний среди преподавателей и учащихся, а также планомерное развитие и расширение географии детско-юношеского геологического движения в Республике Беларусь (рис. 1) [2].

Кроме того, авторами поставлена цель продемонстрировать на личном опыте возможность и необходимость взаимодействия учреждений среднего образования с научными и производственными организациями.

В настоящий момент важно сохранить нить передачи знаний и навыков работы во время стагнации самой геологической отрасли и сокращения рабочих мест. Поэтому в Республике Беларусь имеется необходимость объединения интеллектуального потенциала научного сообщества академических и научно-производственных отраслевых институтов и ученых ведущих учреждений высшего образования для совершенствования учебного процесса по естественно-научным предметам и его адаптации к условиям современного времени [6]. Работа школьного геологического музея должна помочь учащимся еще со школьной скамьи определиться в профессиональном предпочтении (профориентировать) с учетом их интересов и склонностей [2].



Рисунок 1 – Геологические музеи на территории Республики Беларусь

Роль геологии для Республики Беларусь особенно важна, так как давно отрабатываемые месторождения истощаются и существует потребность в открытии новых месторождений и участков недр, как правило, с более сложным строением, а также в разведке месторождений новых видов сырья и разработке новых технологических схем добычи и переработки минерального сырья, еще не разрабатываемых в настоящий момент на территории страны.

Обеспеченность научных и производственных организаций геологической отрасли страны высококвалифицированными кадрами зависит в первую очередь от качества подготовки студентов-геологов в учреждениях высшего образования. В свою очередь, качество подготовки студентов напрямую зависит от их заинтересованности в предмете изучения (целенаправленность поступления) и багажа знаний абитуриентов. Именно поэтому так важен системный подход при реализации образовательных программ геологического образования на разных ступенях (среднее и высшее) [1].

В ходе работы музея в учреждении образования принципиальной методической новацией является ориентация на так называемый компетентностный подход, призванный придать содержанию образования практико-ориентированную направленность. Исключительная практическая значимость знаний геологической науки и методов ее исследования обусловливает их роль в усилении профессиональной направленности при изучении географии в учреждениях среднего образования. При работе в музее в сознании учащихся устанавливается связь между полученным теоретическим материалом и конкретной действительностью. В ходе осуществления образовательного процесса при работе с учебной коллекцией благодаря ее наглядности можно добиться осознанного восприятия учащимися даже самых сложных понятий, формирования пространственного воображения и способности представить что-либо в движении и развитии. Подлинность музейной информации придает получаемым знаниям особую значимость, убедительность и достоверность. Значение геологической составляющей в системе школьного образования определяется сложной структурой современной геологии и ее многосторонними связями с другими науками, прежде всего естественно-научного цикла [5].

Как отмечают авторы [8], «предметная разобщенность становится причиной фрагментарности мировоззрения учеников. Бич современности – это слабая разработанность интеграционных связей в школьных курсах, их противоречивое изложение, разногласия в понимании сущности этих связей. Учителя не имеют четкой системы методи-

ческих рекомендаций и решают эту задачу на эмпирическом уровне». Поэтому работа школьников в музее позволит проводить интегрированные уроки и наладить развитие межпредметных (метапредметных) связей [7].

Представленные в учебной коллекции образцы (единицы хранения или, как их еще называют, «натуралии» [3]) обеспечат преподавателей необходимым материалом для проведения учебных занятий, а также пригодятся на практических занятиях в рамках изучения предметов «География», «Химия», «Физика», «Биология», при организации и проведении работы геологического кружка, что максимально наглядно позволит объяснить изучаемые темы с привлечением музейных экспонатов [9].

Посредством ознакомления с коллекцией ученики узнают и усваивают, из каких химических элементов, минералов и горных пород состоит планета Земля, а поскольку основная часть представленных в музее экспонатов собрана на территории Беларуси, то при работе с учебной коллекцией особое внимание будет уделено рассмотрению и изучению ее геологического строения. Музей должен стать популярным и общедоступным центром просвещения, двери в который будут открыты всем желающим. Занятия в школьном геологическом музее смогут проводить не только преподаватели ГУО «Гимназия № 5 г. Минска имени героев встречи на Эльбе», но и заинтересованные преподаватели и учащиеся других школ, гимназий и лицеев города и района, а также приглашенные известные специалисты геологической отрасли [9].

Работа в музее учащихся различного возраста (классов) из других учреждений образования способствует улучшению навыков общения, командной работы и решения практических задач, что связано с неформальностью данного типа работы по сравнению с работой в классе. Например, практические работы планируется проводить не в виде индивидуальных заданий для каждого учащегося, а в форме заданий для пар или групп учеников. Прежде всего, учебная коллекция предназначена для работы с ней учащихся 5–9-х классов [2; 4].

Для формирования новой экспозиции школьного геологического музея и создания коллекции минералов, образцов горных пород и палеонтологических остатков были поставлены следующие задачи:

- выполнить отбор наиболее представительных (как наиболее типичных и общераспространенных, так и уникальных) образцов минералов и горных пород, имеющихся в нашем распоряжении, которые бы наиболее полно характеризовали то или иное стратиграфическое подразделение, геологическое строение той или иной территории, а также то или иное месторождение полезных ископаемых;

– выполнить систематизацию и классификацию образцов по генетическому признаку (по происхождению), составить «Каталог образцов минералов, горных пород и палеонтологических остатков».

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ

Отбор образцов проводился при выполнении геологоразведочных и научно-исследовательских работ в научных и производственных организациях, таких как Государственное предприятие «НПЦ по геологии» и ОАО «Белгорхимпром», а также в ходе собственных экспедиционных исследований авторов.

После отбора образцов выполнялись работы по систематизации и классификации их по генетическому признаку. Описание образца проводилось по определенной схеме, а результаты заносились в «Каталог образцов минералов, горных пород и палеонтологических остатков», в котором содержится вся основная информация о представленных в учебной коллекции образцах.

Основными сведениями об образцах являлись инвентарный номер, краткое название, информация о количестве однотипных образцов; место и глубина отбора (государство, регион, местность, месторождение полезных ископаемых, геологическое обнажение), возраст отложений, из которых был отобран образец (стратиграфическая привязка); формула химического состава; вид согласно классификации минералов и горных пород.

Кроме того, каждый образец снабжался примечанием, включающим его подробное описание: генезис, т. е. описание происхождения (способ образования); основные сведения о стратиграфическом подразделении и/или месторождении, из которого был отобран образец, и другими сведениями, которые следует учитывать при изучении экспонатов из учебной коллекции.

В музейной коллекции важны не только сами предметы, но и связанная с ними информация.

Именно эта информация, размещенная в каталоге и придает научную ценность музеиному предмету, не имеющему непосредственной эстетической привлекательности [5].

На следующем этапе работы с коллекцией образцы были пронумерованы и снабжены этикетками, на которых указывалось краткое наименование, место отбора, а также возраст образца.

Следует отметить, что по возможности в состав коллекции включались по несколько образцов однотипных минералов, горных пород и палеонтологических остатков, чтобы они одновременно находились как в экспонируемой коллекции (основной музейный фонд), так и в обменном фонде музея, используемом для проведения практических занятий. Это сделано для удобства работы преподавателей с несколькими группами учащихся.

Основным результатом исследований стало создание учебной коллекции минералов, горных пород и палеонтологических остатков, передача ее в ГУО «Гимназия № 5 г. Минска имени героев встречи на Эльбе» и размещение коллекционных экспонатов согласно принципам генетической классификации минералов и горных пород на выставочных стенах (рис. 2).

На момент передачи в ГУО «Гимназия № 5 г. Минска имени героев встречи на Эльбе» коллекция насчитывала 214 экспонатов и 370 единиц хранения: горные породы – 153 шт., минералы – 38 шт., палеонтологические остатки – 23 шт. (рис. 3).

Среди горных пород наиболее широко представлены осадочные – 127 шт., за ними следуют магматические – 17 шт., вулканогенно-осадочные – 5 шт. и метаморфические – 4 шт. В свою очередь, среди осадочных наиболее широко представлены солевые – 64 шт., силикатные – 52 шт., органические – 11 шт. и оксидные – 9 шт.



Рисунок 2 – Геологический музей в ГУО «Гимназия № 5 г. Минска имени героев встречи на Эльбе»:
а – общий вид оформленных стендов; б – пример оформления стендов с горными породами

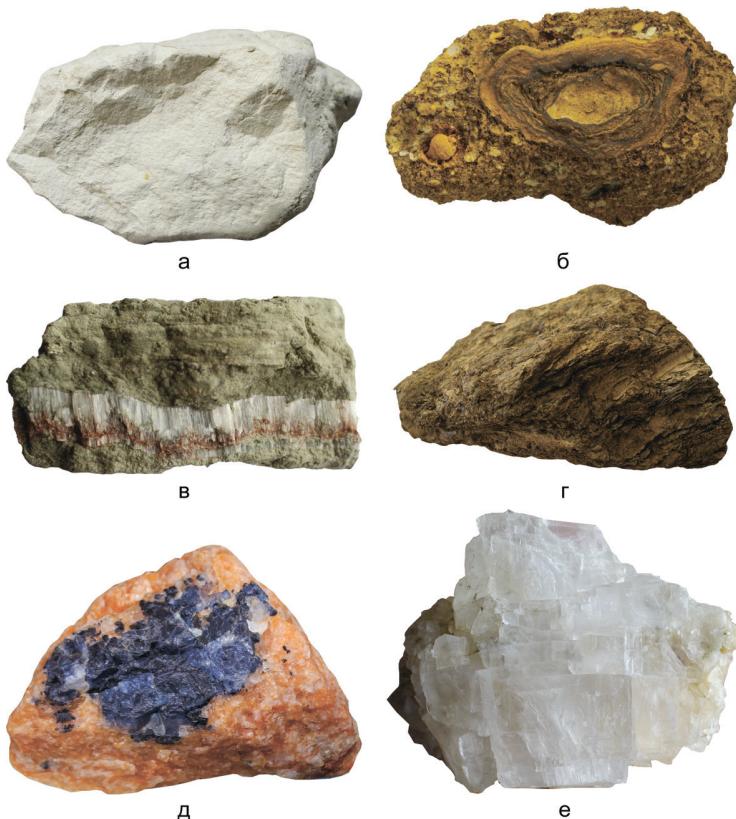


Рисунок 3 – Фотографии некоторых образцов из учебной коллекции:

а – писчий мел (Волковысский р-н., месторождение мергельно-меловых пород Колядичи, K₂t);

б – конкреция лимонита (Жлобинский р-н., д. Стрешин, правый берег р. Днепр, РЭкрг);

в – трещина в глине аргиллитоподобной заполненная гипсом с прослойком гематита (Петриковский р-н., Петриковское месторождение калийных солей, D₃os); *г* – торф (Петриковский р-н., геологическое обнажение Дорошевичи, бПImr); *д* – сильвинит с голубым галитом (Петриковский р-н., Петриковское месторождение калийных солей, горизонт IV-п, D₃os); *е* – соль каменная шпатовая (Солигорский р-н., Старобинское месторождение калийных солей, 1РУ, горизонт каменной соли –305 м, D₃os)

Среди минералов преобладают следующие классы (по мере убывания): оксиды – 10 шт., сульфиды – 10 шт., карбонаты – 6 шт., силикаты – 6 шт., самородные элементы – 2 шт., фосфаты – 2 шт., сульфаты и галогениды – по 1 шт.

География мест отбора образцов весьма широка и насчитывает 13 стран. Большая часть образов отобрана на территории Беларуси – 142 шт. (Старобинское и Петриковское месторождения калийных солей, месторождение строительного камня Микашевичи, месторождение мергельно-меловых пород Колядичи и месторождение песка Цупер-99 в Жлобинском районе).

Кроме того, в коллекцию вошли образцы, отобранные в таких странах, как Туркменистан (Гаурдакское месторождение самородной серы – 5 шт., Гарлыкское месторождение калийных солей – 1 шт.), Таиланд (месторождение калийных солей Бамнет-Наронг – 5 шт.), Россия (медно-порфировое месторождение Песчанка – 1 шт., Гремячинское месторождение калийных солей – 1 шт., Западно-Перелюбский участок калийных солей – 1 шт.).

Испания – 2 шт., Италия – 1 шт., Боливия – 1 шт., Тунис – 1 шт., Зимбабве – 1 шт., Эстония – 1 шт., Узбекистан – 1 шт., Израиль – 1 шт., Германия – 1 шт. Для 48 образцов информация о месте отбора отсутствует.

Представленные в учебной коллекции образцы охватывают почти весь стратиграфический разрез, начиная с современных голоценовых образований и заканчивая самыми древними породами архея и протерозоя.

Ниже приведем распределение образцов по характеризуемым ими стратиграфическим подразделениям: девонская система – 46 шт., четвертичная система – 38 шт., меловая система – 20 шт., юрская система – 16 шт., вендская система – 6 шт., палеогеновая система – 5 шт., верхнепротерозойская эонотема – 5 шт.; каменноугольная система – 4 шт., ордовикская, силурийская и неогеновая системы – по 3 шт., рифейская система – 2 шт., кембрийская, пермская и триасовая системы – по 1 шт. Всего возрастную привязку имеют 154 образца, без возрастной привязки 60 образцов.

Как известно, основными методами построения музейной экспозиции являются систематический

и тематический. Для постоянной экспозиции нами использован метод систематизации. Для временных экспозиций используется тематический принцип [3].

Среди специфических особенностей учебной коллекции можно отметить:

- большое количество образцов, характеризующих четвертичную систему на территории Беларуси, что связано с широким разнообразием данных отложений и их повсеместной распространностью на территории страны;

- большое количество образцов, характеризующих девонскую и меловую системы на территории Беларуси, что связано с их широкой и почти повсеместной распространностью по территории страны, а также с тем, что породы данного возраста зачастую образуют месторождения полезных ископаемых (каменные и калийные соли, нефть, гипс, мергельно-меловые породы и т. д.), которые к настоящему моменту вскрыты и отрабатываются горными предприятиями;

- широко представлены соляные породы (Старобинское и Петриковское месторождения (Беларусь), Гремячинское и Западно-Перелюбский участок (Россия), Гарлыкское (Туркменистан), Тюбетаганское (Узбекистан), Бамнет-Наронг (Таиланд));

- большое количество образцов, являющихся продуктами постседиментационных изменений вмещающих их отложений девонского, юрского, мелового, палеогенового и четвертичного возраста.

Учебная коллекция имеет ряд специфических особенностей, отмеченных выше, также в ее составе можно выделить отдельные тематические коллекции [2].

Коллекция по возможности будет расширяться и пополняться новыми образцами. Для того чтобы обучение было объектно-ориентированным, необходимо, чтобы и учащиеся совместно с преподавателями также активно участвовали в работе по пополнению экспозиции и фондов новыми образцами в ходе проведения экспедиционных и экскурсион-

ных геологических исследований с посещением горных выработок (прежде всего карьеров) и обнажений горных пород [2].

В ходе дальнейшего развития музея планируется продолжить начатую работу по созданию учебного и научно-вспомогательного материала (геологических карт, схем, разрезов, фотографий, моделей). Завершающим этапом в подготовке музея станет разработка учебно-методических пособий по проведению экскурсий, лекционных и практических занятий с учебной геологической коллекцией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в учебном процессе экспонатов из коллекции школьного геологического музея позволяет учащимся ознакомиться с разнообразием минералов, горных пород и ископаемых организмов, принципами их классификации и систематики, повысить уровень знаний о геологическом строении территории Беларуси и планеты Земля.

С целью повышения качества образовательного процесса в геологический музей Гимназии № 5 г. Минска имени героев встречи на Эльбе передана учебная коллекция минералов и горных пород, насчитывающая 214 экспонатов и 370 единиц хранения, которые сгруппированы по основным группам: горные породы – 153 шт., минералы – 38 шт., палеонтологические остатки – 23 шт.

Для пополнения экспозиции и фондов геологического музея новыми образцами необходимо не только поддерживать сотрудничество с геологическими музеями разных научных, образовательных и производственных организаций нашей страны, проводить экспедиционные и экскурсионные геологические исследования, но и разработать учебно-методические пособия для курса лекционных, практических и экскурсионных занятий с использованием в качестве образовательного материала экспонатов учебной геологической коллекции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Детско-юношеское геологическое движение как фактор формирования кадрового потенциала геологической отрасли России / В. П. Орлов [и др.] // Отечественная геология. – 2021. – № 1. – С. 5–18.
2. Егорова, Н. А. Роль школьного геологического музея в учебно-воспитательной деятельности МБОУ ЦО № 17 [Электронный ресурс] / Н. А. Егорова // Альманах педагога. – 2017. – № 1. – Режим доступа: <https://almanahpedagoga.ru/servisy/publik/publ?id=9831> – Дата доступа: 15.09.2022.
3. Кепин, Д. В. Музейно-образовательные программы в геологическом музее / Д. В. Кепин, Г. В. Анфимова // Искусство и культура. – 2012. – № 3 (7). – С. 103–108.
4. Козлов, П. С. Геомузейная педагогика – уральская «живинка в деле»: естествоиспытание, эксперимент, научный поиск, самоопределение / П. С. Козлов, И. В. Козлова, Р. Р. Ленцевич // Известия Уральского государственного горного университета. – 2018. – № 4 (52). – С. 158–169.

5. Кулакова, М. В. Формирование и использование экспозиций геологического музея в реализации содержания школьного географического образования: автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13 00.02 / М. В. Кулакова; МГОУ. – М., 2007. – 23 с.
6. Малышев, Ю. Н. Инновационные преобразования в системе просвещения и образования музейными средствами в эпоху цифровизации / Ю. Н. Малышев, А. В. Титова, Е. Г. Мирлин // Горная промышленность. – 2020. – № 6. – С. 72–76.
7. Пугачева, Е. Е. Геологические знания в курсе школьной физической географии как средство развития метапредметности / Е. Е. Пугачева // Вестник ТГПУ. – 2013. – № 1 (129). – С. 150–152.
8. Решетник, М. Н. Проблемы продвижения музейной и школьной геологии среди учащихся старших классов / М. Н. Решетник, Д. Л. Старокадомский // Жизнь Земли. – 2021. – № 1 (43). – С. 116–129.
9. Тимофеев, А. П. Углубленное изучение геологии в средней школе // А. П. Тимофеев // Инновационные проекты и программы в образовании. – 2008. – № 2. – С. 108–110.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 21.07.2023

Рэцэнзент A. I. Паўлоўскі

ДОСВЕД СТВАРЭННЯ ВУЧЭБНАЙ КАЛЕКЦЫ МІНЕРАЛАЎ,
ГОРНЫХ ПАРОД І ПАЛЕАНТАЛАГІЧНЫХ АСТАТКАЎ
ДЛЯ ШКОЛЬНАГА ГЕАЛАГІЧНАГА МУЗЕЯ Ў ГОРАДЗЕ МІНСКУ

К. Ю. Балашоў¹, А. М. Балашова²

¹Дзяржаўнае прадпрыемства «НПЦ па геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: balashovkj@gmail.com

²Адкрытае акцыянернае таварыства «Белгархімпрам»
пр. Машэрава, 17, 220029, Мінск, Беларусь

У артыкуле прыводзіцца вынікі работы па стварэнні вучэбнай калекцыі мінералаў і горных парод у геалагічным музеі ДУА «Гімназія № 5 г. Мінска імя герояў сутэрэчы на Эльбе» з мэтай папулярызацыі геалагічных ведаў сярод выкладчыкаў і навучэнцаў, а таксама для фарміравання ў вучняў навуковага светапогляду і паважлівых адносінаў да помнікаў геалагічнай спадчыны.

Ключавыя слова: геалагічны музей, музейная экспазіцыя, навучальная калекцыя, мінералы, горныя пароды, экспанаты.

EXPERIENCE OF CREATING AN EDUCATIONAL COLLECTION OF MINERALS,
ROCKS AND PALEONTOLOGICAL REMAINS
FOR THE SCHOOL GEOLOGICAL MUSEUM IN MINSK

K. Balashov¹, A. Balashova²

¹State Enterprise «Research and Production Centre of Geology»
7 Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus

E-mail: balashovkj@gmail.com
²Joint Stock Company «Belgorkhimprom»
17 Masherov Avenue, 220029, Minsk, Belarus

The article presents the results of work on creating an educational collection of minerals and rocks in the geological museum of the State Educational Institution «Gymnasium No. 5 of Minsk named after the heroes of the meeting on the Elbe» in order to popularize geological knowledge among teachers and students, as well as to develop a scientific worldview and respectful attitude to geological heritage.

Keywords: geological museum, museum exposition, educational collection, minerals, rocks, exhibits.

РАДЗІМ ГАЎРЫЛАВІЧ ГАРЭЦКІ (ДА 95-ГОДДЗЯ З ДНЯ НАРАДЖЭННЯ)



7 снежня 2023 г. спаўніяеца 95 гадоў Радзіму Гаўрылавічу Гарэцкаму – акадэміку Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі, замежнаму члену Расійскай акадэміі навук, доктару геолага-мінералагічных навук, прафесару, заслужанаму дзеячу навукі, лаўрэату Дзяржаўнай прэміі СССР і Дзяржаўнай прэміі БССР, прэміі Расійскай АН імя акадэміка М. С. Шацкага і прэміі НАН Беларусі і Сібірскага аддзялення РАН імя акадэміка В. А. Капцюга, акадэміку-заснавальніку Міжнароднай акадэміі экалогіі і Міжнароднай акадэміі навук Еўразіі, сябру Амерыканскага геафізічнага саюза, аднаму з «Выдатных людзей 20-га стагоддзя» паводле спіса Міжнароднага біографічнага цэнтра Кембрыджа.

Бацька Радзіма Гарэцкага Гаўрыла Іванавіч быў адным з заснавальнікаў Беларускай акадэміі навук, маці Ларыса Восіпаўна Парфяновіч-Гарэцкая, вучоны-аграном, як і Гаўрыла Іванавіч, скончыла Ціміразеўскую сельскагаспадарчую акадэмію ў Маскве. У 1930 г. акадэмік Гаўрыла Гарэцкі, як і яго брат, вядомы пісьменнік Максім Гарэцкі, быў арыштаваны, што надоўта прадвызначыла вандроўнае жыццё сям'і за межамі Беларусі і нялягкае дзяцінства Радзіма Гаўрылавіча. Яму давялося вучыцца ў 13 школах у розных гарадах і пасёлках. У 1947 г. ён паступіў на геолагаразведачны факультэт Маскоўскага нафтавага інстытута імя І. М. Губкіна, а пасля заканчэння вучобы ў 1952 г. быў запрошаны А. Л. Яншыным на працу ў Геалагічны інстытут Акадэміі навук СССР (ПН).

Ужо першыя даследаванні Р. Г. Гарэцкага ў Заходнім Казахстане і Сярэдняй Азіі пад кіраўніцтвам акадэміка М. С. Шацкага і А. Л. Яншына дазволілі вырашыць некаторыя важныя пытанні агульной і рэгіянальнай тэкtonікі, стратыграфіі, палеанталогіі, літалогіі, геалогіі нафтавых і газавых радовішчаў. Разам з акадэмікам А. Л. Яншыным Р. Г. Гарэцкі зрабіў грунтоўны ўнёсак у развіццё метадаў тэктанічных даследаванняў. Вынікі гэтых даследаванняў апублікованы ў сумеснай фундаментальнай працы «Тектоніческій аналіз моцностей» (1960), у якой, насуперак пануючым уяўленням, сцвярджалася значнае пашырэнне ў геалагічным мінулым не-кампенсаванага прагінання, захаванасць старажытнага эразійнага рэльефу, глыбакаводных адкладаў.

1950–1960 гг. вызначыліся ў геалогіі сцвярджэннем парадыгмы новай глабальнае тэкtonікі (текtonікі пліт) і яе важнай часткі – вучэння аб маладых платформах. Радзім Гаўрылавіч асаблівую ўвагу надаў даследаванням маладых платформ. У 1969 г. ён атрымаў вучоную ступень доктара геолага-мінералагічных наук за працу «Тектоніка молодых платформ Евразии», а ў 1972 г. выходіць яго манаграфія з той жа назвай. У кнізе вылучаны асаблівасці геалагічнай будовы і развіцця маладых платформ як адметнай катэгоріі тэктанічных элементаў літасферы, і ў якасці тэктонастыпу абрана Цэнтральна-Еўразійская платформа, а Туранская пліта – як тэктонастып маладых пліт. Даследаванне маладых платформ дазволіла выявіць тэктанічныя заканамернасці размяшчэння многіх карысных выкапняў, у тым ліку забяспечыла адкрыццё ў 1965 г. новага газаноснага раёна ў Прыараллі па рэкамендацыі Р. Г. Гарэцкага і яго калег.

У гэты ж час Р. Г. Гарэцкі ўдзельнічае ў работе па падрыхтоўцы матэрыялаў у некаторыя тамы «Геология СССР». Асабліва складанай аказалася праца над XXI томам «Западны Казахстан». Разам з А. Л. Яншыным (редактар тома), В. С. Жураўлёвым, А. Е. Шлезінгерам, казахскімі геолагамі і іншымі калегамі ўпершыню была сістэматызавана ў дзвюх кнігах тома геалогія вялізной тэрыторыі з разнастайнымі па геалагічнай будове раёнамі і пашыранымі ў іх пародамі ад дакембрыю да сучаснасці, з дадаткам «Геологіческай карты Западнага Казахстана» м-бу 1:500 000 (1970).

Стварэнне тэктанічных карт займае важнае месца ў працы Р. Г. Гарэцкага. У 1968–1975 гг. ён намеснік старшыні Рэдакцыйнай камісіі па апрабацыі і зацвярджэнні геолага-геафізічных карт нафтагазаносных раёнаў тэрыторыі СССР м-бу 1:1 000 000. За ўдзел у стварэнні «Тектоніческай карты Евразии» (м-б 1:5 000 000) і манаграфію «Тектоніка Евразии» яму разам з другімі вучонымі ГІНа на чале з А. Л. Яншыным у 1969 г. прысуджана Дзяржаўная прэмія СССР.

За час працы ў ГІНе (1952–1971) у Радзіма Гаўрылавіча ў поўнай меры выявіўся і развіўся талент вучонага і арганізатора. Працавітасць, звычка да напружанай работы, выдатныя веды па спецыяльнасці, адказнасць за давераную справу, добрасумленнасць і харacter – лагодны ў адносінах з людзьмі, але цвёрды ў прынцыповых момантах – спрыялі поспехам і аўтарытэту ў калектыве.

У 1971 г. прэзідэнт АН БССР акадэмік М. А. Барысевіч запрашае Р. Г. Гарэцкага на працу ў Мінск, у Інстытут геахіміі і геафізікі АН БССР, дзе ўжо працаваў яго бацька Гаўрыла Іванавіч Гарэцкі. У снежні гэтага ж года

Радзім Гаўрылавіч вяртаецца на радзіму і ўзначальвае створаны ў інстытуце аддзел агульнай і рэгіянальнай тэкtonікі. У хуткім часе Р. Г. Гарэцкі становіцца прызнаным лідэрам тэктанічнай школы Беларусі і Прыбалтыкі, што выявілася і ў працы арганізаванай ім Камісіі па тэкtonіцы Беларусі і Прыбалтыкі Міжведамаснага тэктанічнага камітэта СССР (1972–1991). У 1972 г. Р. Г. Гарэцкі абираецца членам-карэспандэнтам АН БССР. Пад яго кіраўніцтвам разгарнулася праца па абагульенні велізарнага фактычнага матэрыялу па тэкtonіцы, назапашанага геолагамі па тэрыторыі Беларусі, Прыбалтыкі і заходніх абласцей Расіі. У выніку ў 1976 г. была апублікавана «Тэктанічная карта Беларусі і сумежных тэрыторый» м-бу 1:500 000 і манаграфія «Тектоніка Беларусі». Быў прапанаваны новы метад складання тэктанічных карт паводле раянавання тэрыторыі па ўзросце галоўнага этапу фарміравання платформавых структур. У манаграфіі ўпершыню апісаны будова і этапы развіцця структур фундамента і чахла заходу СССР, вырашаліся некаторыя актуальныя праблемы тэкtonікі старожытных платформ і тэктанічныя заканамернасці размяшчэння карысных выкапняў. За стварэнне «Тэктанічнай карты Беларусі і сумежных тэрыторый» і манаграфіі «Тектоніка Беларусі» Р. Г. Гарэцкі з групай вучоных і геолагаў-практыкаў у 1978 г. быў адзначаны Дзяржаўнай прэміяй БССР.

Новы этап у навукова-арганізацыйнай дзеянасці Р. Г. Гарэцкага пачаўся з 1977 г., калі яго абраў адзін прадзейным членам (акадэмікам) АН БССР і ён быў прызначаны дырэктарам Інстытута геахіміі і геафізікі АН БССР, якім кіраваў 16 гадоў, пакуль не стаў віцэ-прэзідэнтам Акадэміі навук Беларусі.

Важнае месца ў дзеянасці Р. Г. Гарэцкага занялі сумесныя праекты з замежнымі геолагамі, супрацоўніцтва з якімі ён распачаў яшчэ ў ГНІ з вывучэння палеазайд Еўразіі. Асабліва плённым такое супрацоўніцтва было ў 1975–1986 гг. па праекце № 86 Міжнароднай праграмы геалагічнай карэляацыі (МПГК) «Усходне-Еўропейская платформа (паўднёва-заходні край)». Распрацуўка гэтай актуальнай праблемы патрабавала сінтэзу геалагічных матэрыялаў аб будове і развіцці велізарнай тэрыторыі Еўропы ў межах амаль 20 краін і тэктанічных структур ад бартоў Балтыйскай сінеклізы, Беларускай антэклізы, Украінска-га шчыта і Дабруджы на ўсходзе да варысцыйскіх збудаванняў Сярэдняй Еўропы і каледанід Англіі на заходзе, уключна з акваторыяй Паўночнага мора. Р. Г. Гарэцкі – адзін з кіраўнікоў гэтага праекта – узначаліў даследаванні на тэрыторыі СССР і непасрэдна кіраваў тэктанічным напрамкам праекта. Адзін з асноўных вынікаў гэтай работы – складанне і выданне «Тэктанічнай карты паўднёва-заходняй ускраіны Усходне-Еўропейской платформы» м-бу 1:1 500 000 (галоўны рэдактар Р. Г. Гарэцкі). Праведзеныя даследаванні далі магчымасць паглыбіць уяўленні аб тэкtonіцы Еўропы і скласці комплекс літолага-палеагеаграфічных карт Заходняй і Цэнтральнай Еўропы.

Развіваючы вучэнне аб платформах, Р. Г. Гарэцкі асаблівую ўвагу надаў галоўным структурам: аўлакагенам, сінеклізам, антэклізам, зонам перыкратонных апусканняў. У спецыяльных працах была выканана класіфікацыя сінекліз і антэкліз, раскрыты асаблівасці іх развіцця. Разам з С. В. Клушыным ён упершыню паказаў галоўную ролю лістрычных разломаў у будове і развіцці Прыпяцкага палеарыфта, а разам з іншымі калегамі – праблему лістрычнай тэкtonікі платформ наогул. Вялікае значэнне вучоны надае інтэрпрэтациі геафізічных матэрыялаў, вывучэнню глыбінай будовы і геадынамікі платформ, іх сейсматэктанічнаму раянаванню. Вынікам гэтых мэтанакіраваных даследаванняў стала выданне пры ўздзеле і навуковым рэдагаванні Р. Г. Гарэцкага шэрага манаграфій, сярод якіх «Тектоніка Припятскага прогиба» (1979), «Палеотектоніка Беларуссии» (1983), «Геофлюидодинаміка і нефтеобразование» (1997), «Геофізические поля и динамика тектоносферы» (2002) і інш.

Значныя практычныя вынікі даследавання маладых і старожытных платформ палягаюць у высокай абронаванасці на іх аснове навуковага прагнозу такіх карысных выкапняў, як нафта і газ, калийная і каменная солі, аалітавыя жалезныя руды, вуголь, падземныя пітныя воды і расолы і інш. У 1985 г. Р. Г. Гарэцкі ўзнагароджаны Прэзідымумам АН СССР прэміяй імя акадэміка М. С. Шацкага за серыю работ па тэме «Тектоніка осадочнага чехла платформенных областей Еўразии». У 2004 г. разам з калектывам вучоных Беларусі і Сібіры ён стаў лаўрэатам прэміі імя акадэміка В. А. Капцюга, прысуджанай Сібірскім аддзяленнем РАН і НАН Беларусі.

Вывучэнне Прыпяцкага саліноснага басейна сумесна з В. З. Кіслікам, Э. А. Высоцкім, Н. С. Пятровай і іншымі спецыялістамі дазволіла раскрыць заканамернасці распаўсюджвання, будовы, складу і ўтварэння дэвонскіх саліносных фармацый. Вынікі апублікаваны ў трох сумесных манаграфіях на гэту тэму, у тым ліку ў кнізе «Калиеносные бассейны мира» (1988).

З калектывам беларускіх геолагаў Р. Г. Гарэцкі распрацаўваў новае нафтагеалагічнае раянаванне Прыпяцкага прагіну і абронававаў асноўныя напрамкі нафтапошукавых работ, звяртаючы ўвагу на важнасць сейсмостратыграфічных метадаў лакальнага і занальнага прагнозаў. Новыя метадычныя прыёмы пошукаў радовішчаў нафты, распрацаваныя ім з калегамі, былі абаронены пяццю аўтарскімі пасведчаннямі аб вынаходніцтве. Сумесна з геолагамі-нафтавікамі Беларусі, Літвы, Украіны ён удзельнічаў у падрыхтоўцы і публікацыі фундаментальнай манаграфіі «Геология и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы» (1997).

У 1990-х гг. Р. Г. Гарэцкі быў адным з лідэраў буйных навуковых міжнародных праектаў «Europrobe» і «Eurobridge», кіруючы савецкай, пазней беларускай часткамі. Па тэрыторыі Беларусі быў праведзены геатрансект з дэталёвымі комплекснымі геолага-геофізічнымі даследаваннямі па двух профілях: Варэна – Нясвіж – Выступовічы і Бабруйск – Лельчыцы. Для выяўлення глыбіннай будовы асабліва важным было сейсмічнае і магніта-тэлурурычнае зандзіраванне. У выніку здабыты фундаментальныя веды аб структуры і эвалюцыі літасферы заходу Усходне-Еўрапейскай платформы.

Вывучэннем геалагічнай будовы зямной кары Беларусі і навакольнай тэрыторыі Р. Г. Гарэцкі працягвае займацца і да апошняга перыяду. У рэалізаваным праекце Геарыфт 2013 па напрамку Нясвіж – Брагін (Беларусь) – Чарнігаў – Палтава (Украіна) Р. Г. Гарэцкі ў складзе рабочай групы прымаў удзел у інтэрпрэтацыі атрыманых геофізічных вынікаў з тэктанічных пазіцый, што завяршылася стварэннем мадэлі глыбіннай будовы зямной кары да глыбіні 80 км. Гэта мадэль з'яўляецца асновай для вывучэння геалагічных асаблівасцей палеарыфтовых структур Усходне-Еўрапейскай платформы.

У 1993 г. Р. Г. Гарэцкі быў членам беларускай дэлегацыі на Генеральнай канферэнцыі ЮНЕСКА ў Парыжы, дзе выступіў з прапановай правесці даследаванне навейшай геадынамікі Цэнтральнай Еўропы ў сувязі з праблемай паходжання катлавіны Балтыйскага мора. Ідэя была падтрымана і набыла статус праекта МПГК № 346 «Неагеадынаміка дэпрэсіі Балтыйскага мора і сумежных абласцей», кіраўнікамі якога былі Р. Г. Гарэцкі, Э. А. Ляўкоў (Беларусь) і Г. Шваб (Германія). У выніку даследавання па праекце (1994–1998) геолагамі Беларусі, Германіі, Даніі, Літвы, Латвіі, Польшчы, Украіны і Расіі была апублікавана серыя карт і высветлены асноўныя фактары неагеадынамічных працэсаў, упłyваючых на развіццё тэрыторыі Цэнтральнай Еўропы, сярод іх – залажэнне ў сярэднім плейстацэне Усходне-Балтыйскай рыфтавай сістэмы трайнога сучленення, фарміраванне якой прадаўжаецца і сёння. Вынікі падведзены ў манаграфіях «Неотектоніка и неогеодинаміка Восточно-Европейской платформы» (2009, разам з Р. Я. Айзбергам і А. К. Карабанавым) і «Сейсмотектоніка плит древних платформ в области четвертичного оледенения» (2009, калектыв аўтараў).

Многія працы Р. Г. Гарэцкага прысвечаны вывучэнню разломаў; ён прымаў актыўны ўдзел у напісанні манаграфіі «Разломы земной коры Беларусі» (2007) пад рэдакцыяй Р. Я. Айзберга. На падставе комплексных геолага-геофізічных даследаванняў разам з Г. І. Каратаевым вылучаны новыя тэктанічныя элементы, якія апісаны ў кнізе «Новые тектонические элементы Восточно-Европейской платформы. Концепции, методы» (2012). Геалагічная інтэрпрэтацыя геофізічных палёў з прымяненнем сучасных метадаў мадэліравання паказалі, што Фенаскандынаўскі, Сарматскі і Волга-Уральскі сегменты, якія ўтвараюць Усходне-Еўрапейскі кратон, аб’яднаны элементам унікальнай структуры – Слабоцкім тэктонічным вузлом трайнога сучленення. Шырокі спектр асадкава-вулканагенных і інтрузійных фармацый у зонах сучленення сегментаў зямной кары забяспечвае іх высокі металагенічны патэнцыял, з чым звязаны і перспектывы руданоснасці Цэнтральна-Беларускай шоўнай зоны і ўплыў яе на магчымую алмазаноснасць Беларусі (Гарэцкій, Каратаев «Шовные зоны Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралли», 2014).

Пастаянная ўвага Р. Г. Гарэцкага да аэра- і космайнфармацыі як спосабаў вывучэння геалогіі і асабліва тэкtonікі таксама дала плён: пад яго кіраўніцтвам у 1988 г. была складзена першая «Косматэктанічная карта Беларусі» м-бу 1:2000 000, а ў 2012 г. – новая карта м-бу 1:500 000.

Навукова-арганізацыйная дзейнасць Р. Г. Гарэцкага як віцэ-прэзідэнта Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі прыпала на 1992–1997 гг. У гэты час развалу адзінай навуковай прасторы пасля распаду СССР і сталаўлення незалежнай дзяржавы Беларусь Радзім Гаўрылавіч разам з іншымі кіраўнікамі акадэміі рабіў ўсё магчымае для захавання кадраў вучоных і навуковых школ, далейшага развіцця беларускай навукі. Дзякуючы энергічным намаганням Р. Г. Гарэцкага ў Беларускім дзяржавным універсітэце пасля 30-гадовага перапынку пачалася падрыхтоўка геолагаў. Ён арганізаваў кафедру дынамічнай геалогіі і ў 1995–1997 гг. быў яе загадчыкам, чытаў лекцыі па агульнай геатэкtonіцы і па праблемах асадкавых адкладаў Беларусі.

Пры рэарганізацыі НАН Беларусі, якая інтэнсіўна ішла ў 2004–2008 гг. і прывяла да закрыцця адзінай у Беларусі акадэмічнай геалагічнай установы – Інстытута геакіміі і геофізікі, Р. Г. Гарэцкі і яго паплечнікі па акадэміі намагаліся пераканаць кіраўніцтва ў неабходнасці захавання ў складзе НАН Беларусі інстытута і развіцця фундаментальных даследаванняў у галіне геалагічных навук для забеспячэння развіцця мінеральна-сыравіннай базы і яе рацыянальнага выкарыстання. Глыбокі аналіз стану геалогіі ў краіне зроблены ім ў праграмным артыкуле «Проблемы геологического изучения недр Беларуси» (Літасфера. 2010. № 1 (39)).

Шмат увагі Радзім Гаўрылавіч заўсёды надаваў рэдактарскай дзейнасці, будучы членам рэдкалегіі часопіса РАН «Геотектоніка», рэдакцыйнага савета міжнароднага часопіса «Геофизический журнал», рэдкалегіі «Геологічнага журнала» (Украіна) і іншых замежных выданняў. Як член рэдкалегіі ён удзельнічаў у падрыхтоўцы «Энцыклапедыі прыроды Беларусі» з 5 тамоў і 18-томнай «Беларускай энцыклапедыі». Р. Г. Гарэцкі – стваральнік і галоўны рэдактар (1994–2010, цяпер член рэдкалегіі) адзінага ў Беларусі навуковага

геалагічнага часопіса «Літасфера», у якім на беларускай, рускай і англійскай мовах друкуюцца артыкулы аб фундаментальных і прыкладных праблемах геалогіі, геофізікі, геахіміі, карысных выкапнях і іншай інфармацыі. Пад рэдакцыяй Р. Г. Гарэцкага ці пры яго сумесным з іншымі рэдагаванні выйшлі з друку 140 найменняў навуковых выданняў.

Акадэмік Р. Г. Гарэцкі – выдатны вучоны ў многіх галінах геалогіі. Ён аўтар і суаўтар 45 манографій і асобных выданняў, удзельнічаў у складанні, рэдагаванні і выданні 50 карт геалагічнага зместу, яго аўтарства пазначана ў больш як 500 навуковых артыкулах.

У Радзіма Гаўрылавіча многа вучняў: больш за 30 геолагаў і геофізікаў пад яго кіраўніцтвам ці пры яго кансультацыі абаранілі кандыдацкія і доктарскія дысертациі. Ён быў апанентам амаль 50 дысертаций, больш за 20 з іх – доктарскія. Шмат гадоў Р. Г. Гарэцкі ўзначальваў вучоны савет па абароне кандыдацкіх і доктарскіх дысертаций па спецыяльнасцях «Агульная і рэгіональная геалогія», «Геатэкtonіка», «Геахімія», «Літалогія», «Геалогія нафты і газу».

У дзеянасці Р. Г. Гарэцкага прыкметнае месца займае папулярызацыя геалагічных ведаў, ён аўтар шматлікіх брашур, артыкулаў, нарысаў і лекцый, сярод іх прысвечаныя гісторыі геалогіі і асобным выдатным дзеячам навук аб Зямлі. Пра свайго навуковага настаўніка напісаў книгу «Академік Яншин – дорогой мой учитель и друг» (2005).

За поспехі ў развіцці геалагічнай навукі Радзім Гаўрылавіч узнагароджаны ордэнам Працоўнага Чырвонага Сцяга, Ганаровымі граматамі Вярхоўнага Савета БССР і Прэзыдыума НАН Беларусі, мае дыпломы Гонару, залаты і іншыя медалі ВДНХ СССР і шмат іншых узнагарод.

Р. Г. Гарэцкі сумесна з Р. Я. Айзбергам, Я. Г. Грыбікам, Г. І. Кацатаевым узнагароджаны Дыпломам ТОП-10 вынікаў дзеянасці вучоных Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі ў галіне фундаментальных і прыкладных даследаванняў за 2018 г. за распрацоўку новых уяўленняў аб палеагеадынамічнай эвалюцыі глыбінных зон зямной кары і верхніх мантых Прыпяцкага і Дняпроўскага палеарыфтовых нафтагазаносных басейнаў, якія дазваляюць павысіць эфектыўнасць геолагаразведачных работ.

Асаблівае месца ў жыцці Р. Г. Гарэцкага займаюць праблемы адраджэння беларускай культуры і мовы, незалежнасці нашай краіны, прысутнасці беларусаў у свеце. Тым самым ён працягвае традыцыі выдатнейших вучоных і асьветнікаў: бацькі Гаўрылы Іванавіча і дзядзькі Максіма Іванавіча Гарэцкіх. З 1990 г. Радзім Гаўрылавіч сябра Рады, а ў 1993–2001 гг. – прэзідэнт Згуртавання беларусаў свету «Бацькаўшчына», быў адным з арганізатораў шасці з'ездаў беларусаў свету. Ён сябра Рады Таварыства беларускай мовы Беларускай інтэлігенцыі, Беларускага фонду культуры і іншых, натхнальнік і арганізатор штогадовых Чытанняў братоў Гарэцкіх. Р. Г. Гарэцкі выступае як прафесійны пісьменнік (ён сябра пісьменніцкай арганізацыі з 2004 г.), яго пяту належыць кнігі пра трагічны лёс бацькі і дзядзькі («Ахвяную сваім "Я"», 1998; «Браты Гарэцкія», 2008; «Лісты жыцця і кахання», 2013), ён укладальнік і аўтар некалькіх асобных кніг пра Г. І. Гарэцкага («Акадэмік Гаўрыла Гарэцкі. Успаміны, артыкулы, дакументы. Да 100-годдзя з дня нараджэння», 2000; «Гаўрыла Гарэцкі. Выбранае», 2002; «Гавриил Іванович Горецкій», 2012 (у суаўтарстве) і інш.). Пісьменніку Р. Г. Гарэцкаму належыць вынаходніцтва арыгінальнага жанру мастацкай літаратуры, які звязаны з геалогіяй. У гэтым жанры выйшлі дзве кнігі: «Жыццёвы меланж» (2013) і «Алантаны Бацькаўшчыны. Жыццёвы меланж-2» (2018). Жанр так і называецца «жыццёвы меланж». Як і стракатая горная парода меланж, народжаная ў стрэсавых сітуацыях пры зрухах зямной кары па разломах, так і жыццёвы меланж узікае пры ўздзеянні чалавека на чалавека, адной супольнасці людзей на другую, краіны на краіну, прыродных феноменаў і іншых з'яў на жыццё людзей. Позірк на гэтыя падзеі нашага знакамітага суайчынніка, вучонага, інтэлігента, чалавека высокай духоўнасці, адданага Бацькаўшчыне, – невычэрпная крыніца натхнення, веры і надзеі на шчаслівую будучыню Беларусі.

Р. Г. Гарэцкі да гэтага часу плённа працуе галоўным навуковым супрацоўнікам у лабараторыі геатэкtonікі і геофізікі Інстытута прыродакарыстання Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Захопленасць навукай, арганізацыйны талент і высокія чалавечыя якасці прыцягваюць да Радзіма Гаўрылавіча ўсіх, хто ведае яго і працуе з ім. Яму ўласцівы інтэлігентнасць, аптымізм і добразычлівасць, дэмакратызм, увага да калег, здольнасць бачыць галоўнае ў складаных праблемах. Гарэцкі – выдатны вучоны і грамадскі дзеяч. Ён актыўна працуе на карысць роднай краіны, працягвае і развівае лепшыя традыцыі навукі і грамадской думкі.

Калегі, паплечнікі і сябры шчыра віншуюць шаноўнага Радзіма Гаўрылавіча з юбілеем і зычаць яму моцнага духу, здароўя, шчасця і радасці ад сваёй вялікай і плённай працы на карысць Бацькаўшчыны!

А. В. Мацвеев, А. А. Махнach, А. В. Кудзельскі,
Я. Г. Грыбік, Р. Э. Гірын, М. А. Нагорны, Т. В. Якубоўская

**ЯДВІГА ІВАНАЎНА АНОШКА
(ДА 80-ГОДЗЯ З ДНЯ НАРАДЖЭННЯ)**



18 кастрычніка 2023 г. споўнілася 80 гадоў Ядвізе Іванаўне Аношцы – вядомаму беларускаму геолагу, кандыдату геолага-мінералагічных навук, дацэнту.

Я. І. Аношка нарадзілася ў г. п. Іёе Гродзенскай вобласці. У 1958 г. яна скончыла Іўеўскую СШ № 2 з залатым медалём і затым атрымала вышэйшую адукацыю на географічным факультэце Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта імя У. І. Леніна (1958–1963). Пачала працоўны шлях у 1962 г. у Інстытуце глебазнаўства Мінсельгаса БССР на пасадзе інжынера-глебазнаўцы, затым працавала ў Мінскай занальнай аграхімічнай лабараторыі Мінсельгаса БССР аграхімікам (1965–1968) і кірауніком групы глебазнаўцаў (1968–1970).

У 1970 г. Ядвіга Іванаўна перайшла ў Лабараторыю геахімічных праблем АН БССР на пасаду старшага інжынера ў сектар геахіміі гіпергенезу і асадачнага літагенезу. На базе гэтай лабараторыі і Плешчаніцкай геафізічнай абсерваторыі ў 1971 г. быў утвораны Інстытут геахіміі і геафізікі АН БССР, з якім і быў далей цесна звязаны яе лёс. Я. І. Аношка хутка стала прызнаным спецыялістам у галіне літалогіі, мінералогіі і геахіміі асадковых парод. У 1983 г. яна паспяхова абараніла кандыдацкую дысертацию «Мінеральны састаў і ўмовы фарміравання кантынентальных палеаген-неагенавых адкладаў Беларусі». Навуковыя вынікі, атрыманыя Я. І. Аношкай, у далейшым былі выкарыстаны пры геалагічным карціраванні, у тэматычных працах з мэтай ацэнкі перспектыв комплекснага выкарыстання адкладаў і пошукаў карысных выкапняў, для стратыграфічнага расчлянення і карэляаций, пры палеагеаграфічных рэканструкцыях.

З 1989 г. Ядвіга Іванаўна займала адміністрацыйныя пасады. Яна працавала вучоным сакратаром, затым – намеснікам дырэктара па навуковай працы акадэмічнага Інстытута геахіміі і геафізікі (1993–2008), у сакавіку – жніўні 2008 г. выконвала абавязкі дырэктара. Пасля рэарганізацыі інстытута яна была намеснікам дырэктара па навуковай працы Беларускага навукова-даследчага геолагаразведачнага інстытута Міністэрства прыродных рэсурсаў і аховы навакольнага асяроддзя Рэспублікі Беларусь (2008–2009).

Я. І. Аношка апублікавала каля 240 навуковых прац, у ліку якіх шэраг манографій і вучэбных дапаможнікаў. Яна паспяхова вяла педагогічную дзейнасць – з 2001 па 2013 г. выкладала на факультэце міжнародных адносін Белдзяржуніверсітэта.

Ядвіга Іванаўна была сакратаром Дзяржаўнага савета па пытаннях выкарыстання нетраў пры Савеце Міністраў Рэспублікі Беларусь, членам Міжнароднай камісіі па гісторыі геалагічных навук (INHIGEO), адказным сакратаром навуковага часопіса «Літасфера», членам рэдкалегіі міжведамаснага бюлетэня «Прыродныя рэсурсы», шматлікіх камісій па розных навукова-арганізацыйных пытаннях. Арганізатарскі талент Ядвігі Іванаўны даў таксама вялікі плён пры правядзенні шматлікіх навуковых форумаў.

За высокія дасягненні ў навуковай і навукова-арганізацыйнай працы Я. І. Аношка мае шматлікія ўзнагароды.

Ядвіга Іванаўна – надзвычай адказны, працавіты, справядлівы і добразычлівы чалавек. Юбілей – гэта свята мудрасці і багатага жыццёвага вопыту. Шаноўная Ядвіга Іванаўна, зычым Вам здароўя, шчасця і дабрабыту! Няхай кожны дзень Вашага жыцця будзе напоўнены аптымізмам, гармоніяй і любоўю!

Р. Г. Гарэцкі, А. В. Мацвеев, А. А. Махнach, рэдкалегія

АННА БОЛЕСЛАВОВНА МИССУНА (К 155-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



12 ноября 2023 г. исполняется 155 лет со дня рождения первой женщины-геолога в Беларуси, известного специалиста в области четвертичной геологии и геоморфологии.

Анна Болеславовна родилась в усадьбе Заболотье Лепельского уезда Витебской губернии (ныне Ветринский сельский совет Полоцкого района Витебской области) в обедневшей дворянской семье. Начальное образование получала на дому, а среднее – в частной польской гимназии в г. Рига, которую окончила в 1887 г. В ней она осталась работать в качестве учителя польского языка и арифметики. В 1890–1893 гг. жила в родном селе и занималась самообразованием, постигая основы естественных наук. В этот период А. Б. Миссуной были собраны представительные коллекции растений и насекомых, которые впоследствии были переданы Варшавскому обществу естествоиспытателей и Московскому обществу испытателей природы.

С 1893 по 1896 г. Анна Болеславовна проходила обучение на Московских высших женских курсах (временное название – «Коллективные уроки»), где посещала лекции выдающихся исследователей современности – В. И. Вернадского, А. П. Павлова и В. Д. Соколова и решила связать свою жизнь с геологией, к которой у нее проявился необычайный интерес.

Весной 1898 г. в Берлине А. Б. Миссуну совершенствовала знания в группе профессора Г. Гейнитца – известного гляциолога. В этом же году участвовала в экспедиции, занимавшейся поисками железной руды и каменного угля на территории Тульской губернии. В течении трех лет, с 1898 по 1901 г. самостоятельно изучала рельеф в бассейнах Западной Двины и Немана.

С 1906 г. Анна Болеславовна начала свою преподавательскую деятельность и сначала стала ассистентом при геологическом кабинете Высших женских курсов, а в дальнейшем проводила практические занятия по минералогии, петрографии, палеонтологии, общей и исторической геологии и учебные практики в Подмосковье, экскурсии в Крыму, по Волге и Уралу. Одновременно, в 1906–1909 гг., являлась хранителем геологических коллекций Московского общества испытателей природы, а с 1919 г. продолжила педагогическую деятельность в должности приват-доцента геологического факультета Московского университета.

Под руководством В. Д. Соколова Анна Болеславовна занималась изучением четвертичных отложений и рельефа Европейской части России и смежных регионов, результатом которого стала разработанная ею методика изучения морфологии и структуры конечно-моренных образований. А. Б. Миссуну одной из первых выполнила стратиграфическое расчленение ледниковых отложений Беларуси, проводила исследования лессовидных отложений Новогрудской возвышенности. Она впервые высказала идею о том, что территория Беларуси является эталонной областью распространения ледниковых отложений и рельефа. Помимо исследований в области четвертичной геологии и региональной геоморфологии Анна Болеславовна в течение ряда лет изучала изверженные породы южного берега Крыма в районе горы Пиляки; проводила палеонтологические исследования юрских кораллов Крыма (район Судака) и диатомовых водорослей, участвовала в гидрогеологических исследованиях в Тверской губернии.

Анна Болеславовна получила заслуженное признание своих коллег-геологов, являясь членом Всероссийского минералогического и Русского палеонтологического обществ, Общества имени Н. Коперника (г. Львов), в 1910 г. принимала участие в работе Международного геологического конгресса в Стокгольме. А. Б. Миссуне – автор 17 научных работ, где изложены научные идеи, не потерявшие актуальность до настоящего времени, в том числе научных трудов: «Материалы к изучению конечных морен Литовского края» (1898), «Конечная морена и устройство поверхности северо-восточной части Гродненской губернии» (1911), «Краткий очерк геологического строения Новогрудского уезда Минской губернии» (1914).

Рэдкалегія

НИКОЛАЙ ФЕДОРОВИЧ БЛИОДУХО (К 145-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

10 декабря 2023 г. исполняется 145 лет со дня рождения выдающегося белорусского геолога, организатора геологической службы Беларуси, профессора, первого академика-геолога Академии наук Беларуси Николая Федоровича Блиодухо.

Николай Федорович родился в г. Игумен (ныне г. Червень Минской области) в семье учителя. Начальное образование получил в школе в родном городке, после чего продолжил обучение в Двинском реальном училище, где проявлял значительный интерес к знаниям, что обусловило выбор направления дальнейшего саморазвития – в 1896 г. Н. Ф. Блиодухо поступает в Горный институт в Петербурге, который оканчивает в 1903 г.

Еще в студенческие годы Николай Федорович увлекся вопросами петрографии и минералогии, принимал участие в геологических исследованиях сибирской территории, а после окончания Горного института, получив звание горного инженера, продолжил участвовать в экспедиционных исследованиях на Дальнем Востоке под руководством профессора Я. С. Эдельштейна. Он изучал месторождения золота и серебра в долине реки Амур и Манчугайского месторождения угля. По возвращении в Петербург с 1907 по 1909 г. в Геологическом комитете занимался научной обработкой материалов, собранных им во время полевых работ.

Период его жизни, начиная с 1909 г., был очень насыщенным: Н. Ф. Блиодухо работал в Томске в должности заведующего золотосплавной и аналитической лабораторией, возглавлял Енисейский горный округ в Красноярске и руководил горно-поисковыми партиями на Алтае.

С 1922 г. Н. Ф. Блиодухо после переезда в Минск возглавлял Горный отдел при Совете народного хозяйства БССР, а с 1923 г. – кафедру геологии Белорусского государственного университета, где при его поддержке с 1934 г. появился геолого-почвенно-географический факультет. В это же время он организовал работы по геологической съемке и разведке полезных ископаемых на территории Беларуси. В 1927 г. в БССР создали Институт геологии и гидрогеологии Академии наук БССР, первым директором которого стал Н. Ф. Блиодухо и возглавлял его до 1935 г.

Н. Ф. Блиодухо по праву считается основателем геологической службы Беларуси и организатором комплексного регионального изучения недр страны. При его непосредственном участии проводилось геологическое изучение меловых отложений и фосфоритов в бассейне р. Сож, результаты которого опубликованы в 1931 г. в работе «Материалы по геологическому изучению водораздела реки Сож». Особую известность приобрела пробуренная по предложению Николая Федоровича в 1928–1929 гг. скважина № 4 в центре Минска, позволившая узнать его геологическое строение, доказать наличие на его территории минеральных вод, а самое важное – решить проблему водоснабжения города. При бурении скважин на воду им были организованы тщательные геологические наблюдения, позволившие в дальнейшем обосновать постановку геофизических исследований и глубокого бурения для выявления полезных ископаемых на территории Беларуси (Минск, Полоцк, Бобруйск, Домановичи). Н. Ф. Блиодухо впервые были составлены геологические карты дочетвертичных и четвертичных отложений, полезных ископаемых БССР. С именем Николая Федоровича связывают открытие залежей мергелей, мела, фосфоритов, доломитов, стекольных песков, торфа, сапропелей, строительных материалов. За выдающиеся заслуги в области геологии 26 декабря 1928 г. Н. Ф. Блиодухо присвоено звание академика Академии наук БССР.

Академик Н. Ф. Блиодухо опубликовал около 20 научных работ, в т. ч. 3 монографии, которые характеризуют его как глубокого исследователя, сделавшего много для геологического изучения недр страны. Научные идеи в области геологии Беларуси, выдвинутые Николаем Федоровичем, получили дальнейшее развитие в работах белорусских геологов, открывших во второй половине XX в. залежи калийных и каменных солей, нефти, угля, сланцев, железных руд, давсонита, фосфоритов, редких и цветных металлов, строительных материалов, лечебных и питьевых подземных вод, промышленных рассолов и других полезных ископаемых.

Рэдкалегія



АЛЕКСАНДР СЕМЕНОВИЧ МАХНАЧ (К 105-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



Александр Семенович Махнач, известный белорусский ученый-геолог, академик Национальной академии наук Беларусь, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки, лауреат Государственной премии БССР, родился 8 декабря 1918 г. в д. Хотляны Узденского р-на Минской области в крестьянской семье.

После окончания семилетней школы и обучения в Минском педагогическом техникуме и на рабфаке Александр Семенович в 1936 г. поступил на географический факультет Высшего государственного педагогического института в Минске, который окончил в июне 1940 г. Осенью того же года он сменил портфель сельского учителя на шинель солдата Красной армии. С первых дней Великой Отечественной войны и до самого ее конца Александр Семенович находился на фронте, защищая и освобождая сначала родную землю, затем Польшу и Чехословакию, участвовал во взятии Берлина и освобождении Праги.

После демобилизации в 1946 г. А. С. Махнач работал в Министерстве просвещения БССР и ЦК ЛКСМБ. Но его влекла наука, и в 1947 г. он поступил в аспирантуру Института геологических наук АН БССР и в 1950 г. Александр Семенович защитил кандидатскую диссертацию на ученом совете Московского нефтяного института им. И. М. Губкина. С 1950 г. и до последних дней жизни А. С. Махнач работал в Институте геологических наук АН БССР, в 1963 г. переданном в Управление геологии при СМ БССР (БелНИГРИ), затем – в Институте геохимии и геофизики НАН Беларусь. В 1955–1989 гг. он был заведующим созданной им литологической лаборатории.

Начало научной деятельности Александра Семеновича после аспирантуры совпало с бурным ростом темпов геологических работ в Беларусь, результаты которых нужно было поставить на службу народному хозяйству, положить в основу поисково-разведочных работ на различные виды полезных ископаемых. Одним из тех, кто смог по-новому взглянуть на сумму геологических фактов, избежать магической власти авторитетов был А. С. Махнач. Залегающую на кристаллическом фундаменте мощную красноцветную толщу песчано-алевритовых и песчано-глинистых пород тогда относили к девонской системе, что влекло за собой ошибочные представления о геологическом строении территории Беларусь. Обработка материалов новых скважин позволила Александру Семеновичу впервые убедительно доказать, что на большей части территории Беларусь широко распространены значительно более древние (верхнепротерозойские) отложения. Накапливались новые фактические данные по палеозойским отложениям Беларусь, на основании которых А. С. Махнач вместе с А. Я. Стефаненко в 1951–1955 гг. выделили и охарактеризовали образования нижнего и среднего кембрия, ордовика, силура, среднего и верхнего девона, нижнего карбона и перми. Главной же заслугой А. С. Махнача в те годы было детальное изучение состава и строения осадочных, вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ, залегающих между кристаллическим фундаментом и балтийской серией нижнего кембрия. Результатом этой работы явилась монография А. С. Махнача «Древнепалеозойские отложения Белоруссии» (1958 г.), ставшая основой его докторской диссертации, которую он защитил в 1959 г. в Геологическом институте АН СССР.

Александр Семенович вместе со своими учениками и сотрудниками многие годы участвовал в геологических экспедициях, занимался лабораторными литологическими, петрологическими, геохимическими исследованиями пород осадочного чехла и фундамента Беларусь. Он внес неоценимый вклад в литологию и геохимию девонских отложений Припятского прогиба в связи с их нефтеносностью, в характеристику вулканогенных формаций венда и девона и кор выветривания на кристаллическом фундаменте. Участвовал в прогнозировании размещения в недрах Беларусь многих полезных ископаемых (калийная и каменная соли, нефть, железные руды, давсонит и др.). В последние годы жизни, несмотря на возраст, А. С. Махнач возглавил работу по созданию фундаментальной монографии «Геология Беларусь», которая имеет объем 100 печатных листов, вышедшей в свет в 2001 г. и надолго остававшейся настольной книгой белорусских геологов. Александр Семенович – автор более 400 научных публикаций, в том числе 30 монографий и книг.

На протяжении 20 лет А. С. Махнач работал по совместительству доцентом, профессором Белорусского госуниверситета и Минского педагогического института. Большой вклад внесен им в подготовку научных

геологических кадров высшей квалификации. Более 30 его учеников стали кандидатами наук, а 3 из них – докторами. Александром Семеновичем создана белорусская литологическая школа.

А. С. Махнач был не только ученым, педагогом и организатором науки в области геологии. В 1969–1973 гг. он – главный ученый секретарь Президиума АН БССР, в 1973–1986 гг. – вице-президент, первый вице-президент АН БССР. Он был депутатом и членом Президиума Верховного Совета БССР нескольких созывов, а в 1985–1990 гг. возглавлял Постоянную комиссию по науке и технике Верховного Совета БССР.

За трудовые и боевые заслуги А. С. Махнач награжден орденами Ленина, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета», Франциска Скорины, Отечественной войны II степени, медалями «За отвагу», «За взятие Берлина», «За освобождение Праги», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

Александра Семеновича не стало 17 октября 2006 г. Мы храним о нем светлую память.

Рэдкалегія

АНАТОЛИЙ МИХАЙЛОВИЧ ПАП (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



3 июля 2023 г. исполнилось 100 лет со дня рождения выдающегося ученого в области геологии, минералогии и петрологии раннего докембрия доктору геолого-минералогических наук, профессору Анатолию Михайловичу Папу.

Анатолий Михайлович родился в Украине, д. Крук Володарск-Волынского района Житомирской области. Окончил в 1941 г. Житомирский лесотехнический техникум. В период 1944–1945 гг. Анатолий Михайлович работал в должности сначала коллектора, затем прораба в Волынской экспедиции, изучая геологию раннего докембрия на севере Украины.

После окончания в 1950 г. геологического факультета Киевского государственного университета шесть лет работал во Всесоюзном Магаданском институте золота и редких металлов в должности младшего научного сотрудника.

Это был важный период для становления ученого, во время которого, в 1955 г., Анатолий Михайлович стал кандидатом геолого-минералогических наук.

Его дальнейший научный путь был связан с Беларусью. В 1957 г. Анатолий Михайлович переехал в Минск, где работал в Институте геологических наук БССР (БелНИГРИ) сначала в должности старшего научного сотрудника, затем с 1977 г. – заведующего отделом твердых полезных ископаемых. С 1980 по 1990 гг. заведовал лабораторией петрографии и металлогении кристаллического фундамента в Институте геохимии и геофизики АН БССР, с 1990 по 2000 гг. был ее главным научным сотрудником. В 1974 г. он защитил докторскую диссертацию; в 1993 г. ему было присвоено звание профессора.

Анатолий Михайлович посвятил свою жизнь науке и внес неоценимый вклад в дело изучения самой сложной и наименее исследованной геологической области – геологии докембра. Научная деятельность А. М. Папа высоко оценивается как геологами Беларуси, так и мировой геологической общественностью, имевшей возможность познакомиться с его идеями на многочисленных научных конференциях, съездах и симпозиумах.

В любом направлении – будь то в области литологии или стратиграфии докембра, метаморфизма,магматизма, минералогии, петрологии или геохимии кристаллических пород – везде Анатолий Михайлович Пап далеко продвинул вперед науку своим тщательным анализом огромного фактического материала и глубокими теоретическими разработками. Так, в 1964 г. он выделил щучинскую и житковичскую серии, которые в 1981 г. были включены в рабочую стратиграфическую схему архея и протерозоя Беларуси и до сих пор сохраняют свое значение, выполнил формационный анализ, геолого-структурное районирование кристаллического фундамента Беларуси и установил этапы его развития в раннем докембре. С участием Анатолия Михайловича, как и с учетом его материалов, были составлены многие карты (геологические, тектонические, прогнозно-металлогенические) докембrijского фундамента не только Беларуси, но и всего фундамента Русской плиты.

Анатолий Михайлович Пап является автором около двух сотен работ, нескольких крупных монографий: «Магматические и метаморфические комплексы докембра БССР» (1962), «Кристаллический фундамент Белоруссии» (1977), «Геология Беларуси» (в соавторстве, 2001) и др., которые и в настоящее время не потеряли своей актуальности.

Неутомимый исследователь и организатор науки, талантливый воспитатель нескольких поколений молодых геологов, Анатолий Михайлович Пап, ушедший от нас в 2004 г., навсегда останется в нашей памяти.

*I. В. Найдзенкаў, Н. А. Кажамякіна,
A. A. Архіпава, A. A. Талкачыкава, D. A. Дамінікоўская*

ЖОЗЕФ ПАВЛОВИЧ ХОТЬКО (К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

Один из старейших белорусских геофизиков кандидат геолого-минералогических наук Жозеф Павлович Хотько (19.06.1923–19.06.2012) родился в Бобруйске. После окончания школы он в 1942 г. поступил в Горный институт им. Вахрушева, г. Свердловск (ныне г. Екатеринбург). Все обучение прошел как отличник с оценкой 5 по всем предметам, получал стипендию как сталинский стипендиат. После окончания вуза с отличием был направлен в распоряжение Академии наук Беларуси, где работал до ухода на пенсию в 2003 г. в возрасте 80 лет. Он относился к организаторам нового для Беларуси направления – «геофизические исследования». При его непосредственном участии была создана Плещеницкая геофизическая обсерватория, он поддерживал идею создания Нарочанской геофизической обсерватории. В разные годы Жозеф Павлович руководил сектором и впоследствии лабораторией геофизики. Научные исследования на протяжении 11 лет он совмещал с педагогической работой в Белорусском государственном университете, где читал курс геофизики и смежных дисциплин. Жозеф Павлович руководил работой ряда аспирантов, четверо из которых успешно защитили кандидатские диссертации. Им написано более 100 научных работ. За многолетнюю работу награжден медалями «За доблестный труд» (1970), «Ударник 9-й пятилетки» (1975), Почетной грамотой НАН Беларуси.

Жозеф Павлович не дожил ровно один год до своего 90-летнего юбилея и умер в день своего рождения. Он похоронен рядом с родителями в г. Бобруйске. Некролог о его уходе из жизни с детальным описанием его научного вклада и жизненного пути был опубликован в журнале Литосфера в 2012 г, № 2 (37), с. 163–164.



На фото обсуждение результатов геофизических исследований, слева направо:
к. г.-м. н. А. П. Емельянов, ведущий инженер А. И. Дорошкевич,
к. г.-м. н. Ж. П. Хотько, к. г.-м. н. К. И. Левашов.

Рэдкалегія, колегі, сябры

РОММА ЕФИМОВИЧ АЙЗБЕРГ (К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



16 июня 2023 г. исполнилось бы 90 лет члену-корреспонденту НАН Беларуси, доктору геолого-минералогических наук, профессору Ромме Ефимовичу Айзбергу.

Ромма Ефимович Айзберг родился в Артемовске (Бахмут) Донецкой области (Украина). В 1951 г. окончил с золотой медалью среднюю школу и поступил на геологоразведочный факультет Новочеркасского политехнического института. После окончания учебы в 1956 г. и присвоения квалификации горного инженера-геолога продолжительное время работал в Туркменистане.

В 1965 г. он приехал в Минск и стал работать в БелНИГР И. Начался этап его профессиональной деятельности, связанный с изучением тектоники, региональной и нефтяной геологии территории Беларусь.

В этот период ученый участвовал в разработке нового подхода к изучению тектоники Припятского прогиба, основанного на представлениях о блоковом строении этой структуры. Новая тектоническая схема стала базой для нефтегеологического районирования Припятского прогиба, была положена в основу проектирования нефте-поисковых работ и до сих пор не утратила актуальности.

За создание Тектонической карты Беларуси и смежных территорий масштаба 1:500 000 и монографии «Тектоника Белоруссии» в 1978 г. Ромма (Роман) Ефимович в составе группы ученых и геологов-практиков был удостоен звания лауреата Государственной премии БССР. В этой работе обобщен огромный объем геолого-геофизического материала, накопленный геологами Беларуси, Прибалтийских республик и западных областей России.

В 1977 г. Роман Ефимович завершил работу над докторской диссертацией «Структуры и формации чехла запада Русской плиты и их эволюция», которую защитил в 1978 г. в Московском государственном университете по специальности «геотектоника». В диссертации было показано, что доплитные и плитные этапы развития Восточно-Европейской и других древних платформ характеризовались существенными различиями, которые выражены вполне определенными, закономерно изменяющимися во времени ассоциациями типов структур и формаций, стилем пликативных и разрывных деформаций доплитных и плитных комплексов платформенного чехла.

В 1980–1984 гг. находился в служебной командировке в ГДР, где в должности главного специалиста-консультанта Центрального геологического института (Берлин) изучал проблемы тектоники нефтегазоносных комплексов Центральной Европы.

В 1990 г. перешел на работу в Академию наук БССР, став главным научным сотрудником Института геохимии и геофизики. Со второй половины 90-х гг. прошлого столетия заметное место в его исследованиях занимают проблемы сейсмотектоники и неогеодинамики. Вместе с коллегами Роман Ефимович опубликовал ряд статей, посвященных сейсмотектоническому и неотектоническому районированию запада Восточно-Европейской платформы и Центральной Европы, обоснованию выделения зон возможных очагов землетрясений.

Важная часть научных исследований Романа Ефимовича Айзберга связана с изучением проблем нефтегазоносности. Разработанные карты нефтегеологического районирования Припятского палеорифтового бассейна (1968, 1972, 1988), карта нефтегеологического районирования Беларуси (1999) стали основой планирования нефте-поисковых работ в стране.

Роман Ефимович – участник исследований по нескольким крупным международным научным проектам: «Евробридж», «Георифт-2013», «Неогеодинамика депрессии Балтийского моря и сопредельных областей», «Нефтегазоносность верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири» и др. Научный итог этих работ – новая модель строения литосферы территории Беларуси, новая неотектоническая карта Центральной Европы, оценка генетических связей неотектонических структур с глубинным строением региона, выявление условий нефтегазообразования и нефтегазонакопления в разнотипных платформенных структурах.

С 2008 г. он работает в Институте природопользования НАН Беларуси. В 2016–2018 гг. под руководством Романа Ефимовича Айзберга выполняется проект по исследованию и оценке потенциала нетрадиционных сланцевых источников углеводородного сырья в недрах Беларусь. Разработана методология изучения таких

источников применительно к нефтегазоносному Припятскому, а также нефтеперспективным Подлясско-Брестскому и Оршанскому осадочно-породным бассейнам.

На основе результатов анализа новейших материалов построены карты структурного районирования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов (В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик, 2011). Эти карты и пояснительные записки к ним являются ориентиром при постановке нефтеразведочных работ в Беларусь. Созданы также карты районирования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского бассейна по условиям нефтегазообразования, которые находят применение для прогноза перспектив использования нетрадиционных скоплений углеводородов и для оконтуривания наиболее перспективных участков поисков традиционных нефтяных залежей.

Эти разработки обобщены в монографии «Нетрадиционные источники углеводородного сырья в недрах Беларусь: геологические аспекты», вышедшей в 2022 г. (авторы Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик, В. Н. Бескопыльный, Е. Ф. Никуленко; под редакцией Р. Е. Айзберга, Я. Г. Грибика).

В 2022 г. НАН Беларусь присудила премию в области химических наук и наук о Земле за цикл работ «Результаты геолого-технологических исследований углеводородного сырья недр Беларусь» Я. Г. Грибiku, В. Н. Бескопыльному, П. П. Повжику. К сожалению, Роман Ефимович Айзберг в связи с уходом из жизни в мае 2022 г. по условиям конкурса не был включен в состав авторов этого цикла работ, хотя его большая заслуга в его создании несомненна.

Научные заслуги Романа Ефимовича Айзберга отмечены Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь. В 2004 г. вместе с группой белорусских и сибирских ученых он был удостоен премии СО РАН и НАН Беларусь им. академика В. А. Коптюга, а за цикл работ «Разломы и линеаменты земной коры Беларусь: теоретические и прикладные аспекты» – премии НАН Беларуси (2008). В 2013 г. он награжден Почетной грамотой Президиума НАН Беларусь за значительный вклад в изучение тектоники, геодинамики и нефтегазоносности Беларусь, подготовку научных кадров. В 2018 г. Президиумом НАН Беларуси награжден дипломом (топ-10 результатов деятельности ученых Национальной Академии наук Беларусь в области фундаментальных и прикладных исследований) за создание геолого-геофизической модели глубинного строения земной коры и верхней мантии Припятского и Днепровского палеорифтовых нефтегазоносных бассейнов (совместно с Р. Г. Гарецким, Г. И. Карапаевым, Я. Г. Грибиком).

Многих людей, знавших Романа Ефимовича Айзберга – одного из лидеров геологической науки Беларусь, пользовавшегося широкой известностью и огромным авторитетом как в нашей стране, так и далеко за ее пределами, – привлекали в нем увлеченность геологией, большая культура, энциклопедические знания, доброжелательность, готовность прийти на помощь.

Мы сохраним светлую память о нашем коллеге.

*Р. Г. Гарэцкі, А. В. Мацвеев, А. А. Махнach,
А. В. Кудзельскі, Я. Г. Грыбік, Р. Э. Грын, Н. С. Пяtrova*

ЭДУАРД АЛЕКСАНДРОВИЧ ВЫСОЦКИЙ
(1943–2011)
(К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



13 августа 2023 г. исполнилось 80 лет со дня рождения видного белорусского ученого-геолога, крупного специалиста в области изучения галогенных формаций Эдуарда Александровича Высоцкого, доктора геолого-минералогических наук, профессора, действительного члена Белорусской горной академии.

Эдуард Александрович родился в 1943 г. в Витебске. В 1965 г. после окончания с отличием географического факультета Белорусского государственного университета направлен на работу в Институт геологических наук Госгеолкомитета СССР (г. Минск) начал свою деятельность в секторе стратиграфии и палеонтологии. Большое влияние на него в то время оказали настоящие профессионалы в геологии и просто интересные люди: член-корреспондент А. В. Фурсенко, В. К. Голубцов, С. А. Кручек, Г. И. Кедо, которые навсегда заронили в его душу любовь к геологии.

В 1967–1968 гг. Э. А. Высоцкий в качестве инженера-конструктора Института геологических наук начал заниматься изучением галогенных отложений и месторождений калийных солей в Припятском прогибе. Приход в сектор минеральных солей в начале своей научной карьеры стал знаменательным в его биографии. В этот период он не только занимался подготовкой, систематизацией и анализом геолого-геофизических материалов для выявления закономерностей распространения соленосных формаций по площади и разрезу девонских отложений, для оценки потенциальной калиевосности в пределах Припятского калиевосного бассейна, но и участвовал в документации калийных горизонтов в шахтных стволах строящегося третьего Солигорского калийного комбината (теперь шахтное поле ЗРУ ОАО «Беларуськалий»).

В 1969 г. Эдуард Александрович поступил в аспирантуру и уже в 1971 г. защитил кандидатскую диссертацию, которая была посвящена геологии соленосных толщ северной части Припятского прогиба, выяснению условий их формирования и перспектив калиевосности. Его руководителем был крупнейший советский геолог-солевик профессор Михаил Павлович Фивег.

После защиты диссертации вплоть до 1988 г. Э. А. Высоцкий плодотворно работал в разных научных должностях в секторе агрохимического сырья в отделе твердых полезных ископаемых Белорусского научно-исследовательского геологоразведочного института (БелНИГРИ), являясь ответственным исполнителем научно-исследовательских тем. В это время он занимался расчленением и корреляцией соленосных формаций, тектоническими и литолого-палеогеографическими особенностями соленосных структурно-вещественных комплексов, изучением калийных горизонтов, принимал участие в оценке прогнозных ресурсов калийного сырья.

На основании рекомендаций Э. А. Высоцкого, подготовленных совместно с В. З. Кисликом, Н. С. Петровой и другими сотрудниками сектора, в Припятском прогибе открыто Октябрьское месторождение калийных солей, выявлен ряд перспективных участков на калийные соли (Житковичский, Копатковичский, Смоловский, Дроздовский, Светлогорский).

При активном участии Эдуарда Александровича в творческом содружестве с академиком Р. Г. Гарецким в секторе агрохимического сырья были подготовлены и изданы крупные монографические работы: «Девонские соленосные формации Припятского прогиба» (1982), «Калийные соли Припятского прогиба» (1984). Выход в свет изданий существенно расширил представления о строении, вещественном составе, калиевосности, условиях образования соленосных формаций Припятского Прогиба. Огромный материал по калиевосным формациям был обобщен в монографии «Калиевосные бассейны мира» (1988), подготовленной совместно с академиком Р. Г. Гарецким и В. З. Кисликом. Результаты этих исследований получили широкую известность не только среди отечественных геологов-солевиков, но и далеко за пределами стран бывшего Советского Союза.

Работая в 1989–1993 гг. в отраслевой научно-исследовательской лаборатории Белорусского государственного университета, Э. А. Высоцкий занимался вопросами палеогеоморфологии, палеотектоники, лиофациального анализа и увлекся проблемами связи нефтеносности и калиевосности девонских структурно-вещественных комплексов Припятского прогиба. Возвратившись в 1993 г. в БелНИГРИ, Эду-

ард Александрович сосредоточился на написании докторской диссертации «Эвапориты Беларуси: обстановки накопления и литофикации», которую успешно защитил в 1997 г.

С 1998 г. Эдуард Александрович связал свою судьбу с педагогической деятельностью и в качестве профессора кафедры динамической геологии на географическом факультете Белорусского государственного университета проработал до конца своей жизни. Студентам-геологам он читал курсы «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», «Генезис месторождений полезных ископаемых», «Месторождения металлических полезных ископаемых», «Месторождения горючих и неметаллических полезных ископаемых», по которым им были подготовлены и изданы учебные пособия. В 2000 г. ему присвоено звание профессора по специальности «геология». Работая в университете, Э. А. Высоцкий продолжал активно заниматься научной работой. Им совместно с коллегами были опубликованы монографии «Месторождения калийных солей Беларуси: геология и рациональное недропользование» (2003) и «Спутниковые технологии в геодинамике» (2010), издана Карта полезных ископаемых Республики Беларусь масштаба 1:500 000 (2004).

Всего за свою жизнь Эдуард Александрович подготовил более 240 опубликованных работ, в том числе 5 монографий и 7 учебных пособий. Ряд его работ опубликован в ведущих отечественных и зарубежных журналах («Советская геология», «Геология нефти и газа», «Доклады АН СССР», «Бюллетень Московского общества испытателей природы», «International Geology Review», «Sedimentary Geology»). Он участвовал в выполнении более 40 научно-исследовательских работ, в том числе международного проекта ИНТАС-Беларусь 97. Американский библиографический институт присвоил ему звание «Человек года – 2001».

Эдуард Александрович отличался невероятным трудолюбием и системностью в работе и всегда вносил существенный вклад в результат проводимых исследований. Но неожиданно для коллег и всех окружающих в 2006 г. им была написана и опубликована книга «Мои путевые заметки» – книга воспоминаний о его жизненном пути, работе, путешествиях, основанная на дневниках, которые он вел в течение всей жизни. В произведении Эдуард Александрович с большой теплотой отзыается о тех, с кем учился, работал, общался. О его большом уважении к геологии и к людям, работавших и работающим в ней, свидетельствует то, что он стал одним из инициаторов и основных исполнителей подготовки двухтомной книги памяти – «Геологи и горные инженеры Беларуси».

Эдуарда Александровича не стало в 2011 г., но все помнят его как прекрасного доброжелательного человека, ученого, педагога и великого труженика.

Р. Г. Гарэцкі, А. А. Махнач, Н. С. Пятрова, рэдкалегія

ХРОНИКА



2–3 августа 2023 г. в г. Москве (Россия) состоялось совещание Рабочей группы по организации сотрудничества в области гармонизации подходов и взаимному признанию классификаций запасов полезных ископаемых и экспертного сообщества на основе РКООН между Российской Федерацией и Республикой Беларусь, в котором приняли участие представители природоохранных ведомств и геологических организаций. В ходе совещания заслушаны доклады, посвященные примерам сопоставления запасов углеводородного сырья по Российской классификации запасов и рамочной классификации ООН, а также вопросам создания института экспертов по недропользованию и аудита запасов как части системы экспертизы запасов в Российской Федерации на основе стандартов ООН. По итогам совещания принято решение продолжить развитие двухстороннего сотрудничества в области гармонизации подходов к классификациям запасов полезных ископаемых и развития экспертного сообщества, а также провести оценку запасов углеводородного сырья на реальных данных месторождений России (ПАО «Газпром») и Беларуси (РУП «ПО «Белоруснефть») по действующим классификациям двух стран.



23 августа 2023 г. в г. Минске в рамках деловой программы II Международной специализированной выставки «ECOLOGY EXPO – 2023» прошло XIV заседание Совместной Белорусско-Российской комиссии по охране и рациональному использованию трансграничных водных объектов, на котором были представлены результаты оценки состояния трансграничных поверхностных и подземных вод по данным за 2022 г. В работе заседания приняли участие представители природоохранных ведомств России и Беларуси и подведомственных организаций. По итогам работы комиссии были запланированы последующие шаги, направленные на дальнейшее развитие совместного сотрудничества Беларуси и России в области защиты трансграничных поверхностных и подземных вод от истощения и загрязнения, совместного управления и рационального использования.



С 25 по 26 августа 2023 г. в г. Столине Брестской области прошел XXVII Республиканский экологический форум, приуроченный к Году мира и созидания. В рамках Форума состоялись круглый стол, посвященный обсуждению перспектив развития минерально-сырьевой базы Брестского Полесья, а также научно-практическая конференция, приуроченная к 30-летию Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Участниками Форума отмечен большой потенциал для использования и наращивания минерально-сырьевой базы Брестского региона, связанный с вовлечением в отработку месторождения Новодворское (базальты и туфы), доизучением технологических свойств месторождений Ситницкое (каолины), Хотиславское и Орехово (меловые породы), а также месторождений тугоплавких глин. Кроме того, в пределах Подляйско-Брестской впадины имеются перспективы для наращивания использования геотермальной энергии.



Фото ФГБУ «Гидроспецгеология» (г. Москва)

С 19 по 21 сентября 2023 г. в г. Пскове (Россия) состоялся семинар экспертов рабочих групп Совместной Российско-Белорусской комиссии по охране и рациональному использованию трансграничных водных объектов и специалистов лабораторных служб Российской Федерации и Республики Беларусь на тему «Гидробиологические исследования поверхностных трансграничных водных объектов». В рамках семинара проведен круглый стол, посвященный вопросам корреляции основных водоносных горизонтов и комплексов в пределах гидрогеологических структур в границах бассейнов рек Днепр и Западная Двина на трансграничной белорусско-российской территории.



21–22 сентября 2023 г. в г. Самарканде (Узбекистан) состоялось заседание XXVI сессии Межправительственного совета по разведке, использованию и охране недр государств – участников Содружества Независимых Государств (Межправсовет). От Республики Беларусь участие приняли представители Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь (О. П. Мox – глава делегации) и государственных предприятий «Белгосгеоцентр» и «НПЦ по геологии».

Работа сессии была посвящена обсуждению актуальных вопросов, направленных на развитие сотрудничества стран – участниц СНГ в сфере геологии и недропользования. Руководители делегаций представили информацию о результатах работы геологических служб своих государств за период октябрь 2022 г. – сентябрь 2023 г. по выполнению решений XXV сессии Межправсовета, а также о ходе реализации перспективного плана совместных работ государств – участников СНГ по разведке на 2023–2030 годы. Были заслушаны доклады о ходе цифровизации геологической отрасли, инвентаризации нормативно-правовой базы государств СНГ в области разведки, использования

и охраны недр, трансграничном сотрудничестве, актуальных вопросах нефтегазовой геологии и поиске путей их решения, детско-юношеском геологическом движении как факторе формирования кадрового потенциала геологической отрасли государств СНГ и др. По итогам сессии утверждены Положение о рабочей группе государств – участников Межправсовета по актуальным направлениям развития геологии и недропользования, а также модельные требования к экспертам в области оценки запасов, ресурсов и разработки полезных ископаемых и компетентным лицам. Межправсоветом одобрен проект Положения о базовой организации государств Содружества по разведке, использованию и охране недр, а также проект Программы развития сотрудничества государств СНГ в области изучения, использования и охраны подземных вод на период до 2030 года и проект Плана мероприятий по ее реализации.

Следующая XXVII сессия Межправсовета пройдет в 2024 г. в Кыргызской Республике.

По материалам сайта Минприроды



22–24 сентября 2023 г. в г. Сиань (Китай) состоялся Евразийский форум по международному сотрудничеству в области наук о Земле и инвестициям в зеленую горнодобывающую промышленность – 2023. Делегацию Республики Беларусь возглавил Министр природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь А. П. Худык, в ее состав также вошли представители государственного предприятия «НПЦ по геологии».

В ходе форума были заслушаны доклады о перспективных минеральных ресурсах и инвестиционных возможностях Китая, Ирана, Казахстана, Кыргызстана, Пакистана, России, Таджикистана, Узбекистана, Беларуси, Армении, Турции; подписан протокол форума по международному сотрудничеству в области наук о Земле и горнорудным инвестициям стран ШОС. На секции «Технологии и оборудование для выполнения геологоразведочных работ» заслушаны доклады о применении фо-

тоэлектрической сепарации в горнодобывающей промышленности; использовании мобильных геологических лабораторий; о разработке и использовании твердых литиевых минеральных ресурсов; о новых технологиях и оборудовании для выполнения геофизических работ; о быстрых, «зеленых» и эффективных буровых технологиях для выполнения геологоразведочных работ.

В рамках Форума состоялась встреча представителей Минприроды с руководителями китайских предприятий в горнодобывающей сфере. В ходе встречи белорусской делегацией были представлены перспективные проекты, предлагаемые для привлечения китайских инвестиций в Беларусь (базальты, гипс, железные руды, бентонитовые глины). Подписан Меморандум о сотрудничестве в области наук о Земле между государственным предприятием «НПЦ по геологии» и Геологической службой Китая.

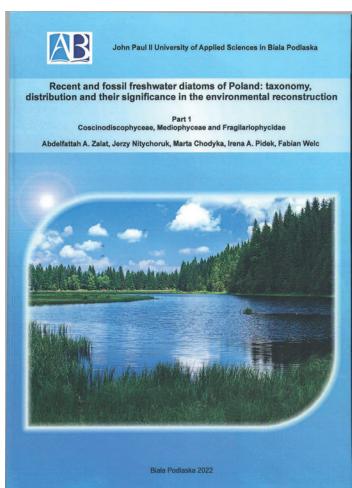


26–28 октября 2023 г. в Брестском государственном университете имени А. С. Пушкина состоялась VI Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов». Конференция проводится раз в два года, начиная с 2011 г., с 2015 г. она включена в план научных, научно-технических и научно-практических мероприятий Национальной академии наук Беларусь. Организаторы мероприятия: Институт природопользования НАН Беларусь, Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина и Брестский государственный технический университет.

В начале работы конференции с приветственным словом выступили ректор БрГУ имени А. С. Пушкина Ю. П. Голубев, заместитель председателя ВАК Д. В. Капский, главный архитектор Брестской области Н. Н. Власюк, академик НАН Беларусь В. Ф. Логинов, ректор БрГТУ С. А. Касперович, директор Института природопользования НАН Беларусь С. А. Лысенко и др. В ходе пленарного заседания были представлены научные доклады по актуальным вопросам климатологии, геоэкологии, экологической геологии и урбаниологии. Дальнейшее обсуждение научных вопро-

сов в рамках конференции продолжилось по трем секциям: «Общая и региональная геология», «География и природопользование» и «Урбанология и сити-менеджмент». В ходе секционного заседания по направлению «Общая и региональная геология» были заслушаны и обсуждены результаты новых научных исследований в области тектоники, геохимии, геологии кристаллического фундамента Беларусь, экологической геологии, четвертичной геологии, палеонтологии, палеогеографии, геоморфологии, применения геоинформационных систем в геологических исследованиях. С научными сообщениями выступили сотрудники филиала «Институт геологии» Государственного предприятия «НПЦ по геологии» (г. Минск), Института природопользования НАН Беларусь (г. Минск), Белорусского государственного университета (г. Минск), ВГУ имени П. М. Машерова (г. Витебск), Геологического института РАН (г. Москва, Россия), Института геологии и геохронологии докембрая РАН (г. Санкт-Петербург, Россия), Атлантического отделения Института океанологии РАН (г. Калининград, Россия), Балтийского федерального университета имени И. Канта (г. Калининград, Россия) и других организаций.

РЭЦЭНЗII



“Recent and fossil freshwater diatoms of Poland: taxonomy, distribution and their significance in the environmental reconstruction. Part 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae and Fragilariphycidae” («Современные и ископаемые пресноводные диатомовые водоросли Польши: таксономия, распространение и значение для реконструкций окружающей среды. Часть 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae и Fragilariphycidae»), 2022

Авторы: **Abdelfattah A. Zalat** (Geology Department, Faculty of Science, Tanta University, Tanta, Egypt), **Jerzy Nitychoruk, Marta Chodyka** (Faculty of Technical Sciences, John Paul II University, Biala Podlaska, Poland), **Irena A. Pidek** (Institute of Earth and Environmental Sciences, Maria Curie-Sklodowska University, Lublin, Poland), **Fabian Welc** (Institute of Archaeology, Cardinal Stefan Wyszyński University, Warsaw, Poland)

Диатомовые водоросли – группа микроскопических одноклеточных организмов, которые с конца мезозоя широко распространены по всему миру и благодаря своему массовому развитию играют значительную роль в создании первичной продукции и в процессе фотосинтеза. Они чутко реагируют на изменения условий среды обитания и поэтому служат прекрасными индикаторами состояния водных экосистем. Кремнистые панцири диатомей после отмирания клеток хорошо сохраняются в отложениях, и таким образом ископаемые диатомеи являются носителями информации о прижизненных условиях обитания. Этим объясняется актуальность исследований морских и пресноводных, современных и ископаемых диатомовых водорослей.

Заметным вкладом в изучение диатомовых водорослей является монография «Современные и ископаемые пресноводные диатомовые водоросли Польши: таксономия, распространение и значение для реконструкций окружающей среды. Часть 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae и Fragilariphycidae», подготовленная коллективом авторов и опубликованная в 2022 г. на английском языке. В 2017–2020 гг. были выполнены исследования донных отложений разнотипных озер в Илавском Поозерье (6 озер) в северной Польше, а также эзенских древнеозерных образований (7 разрезов) на Гарволинской равнине в центральной Польше. Поскольку в изученных отложениях обнаружена богатая и разнообразная диатомовая флора, результаты диатомовых исследований было решено опубликовать в виде монографии. Данная монография будет состоять из четырех частей, в которых в совокупности должна быть представлена информация о более чем 1300 таксонах современных и ископаемых пресноводных диатомовых водорослей плейстоцена и голоцен, изученных на территории Польши за все годы. По сути, это будет атлас-монография пресноводной диатомовой флоры квартера Польши.

Рассматриваемая книга – первая часть монографии, в которой представлены диатомеи из классов Coscinodiscophyceae, Mediophyceae и подкласса Fragilariphycidae.

Книга имеет объем 304 страницы и включает 6 глав.

Во **Введении** (глава 1) дана общая информация о диатомовых водорослях и диатомовом анализе.

Глава 2 «**Диатомовые исследования в Польше**» содержит краткий обзор изученности диатомовых водорослей Польши за все годы, начиная с первой публикации (Raciborski, 1888).

Глава 3 «**Территория исследований и описание разрезов**» посвящена описанию изученных авторами современных озер и разрезов древнеозерных отложений.

В главе 4 «**Материал и методы**» описаны изученный материал – современные и древние флороносные озерные отложения – и методика изучения диатомовой флоры (подготовка препаратов, световая микроскопия, идентификация). Всего проанализирован 821 образец.

Глава 5 «**Результаты**» содержит результаты диатомового анализа по каждому из изученных 6 озер в Илавском Поозерье и 7 разрезов на Гарволинской равнине.

Большую часть объема книги, как это принято в ботанических и палеонтологических атласах, занимает систематическая часть (глава 6 «**Таксономия диатомовых водорослей**», около 240 страниц). Здесь последовательно, в систематическом порядке приведены описания таксонов (родов, видов и таксонов рангом ниже вида) диатомовых водорослей класса Coscinodiscophyceae, класса Mediophyceae (радиально-центрические) и подкласса Fragilariphycidae (из класса пеннатных бесшовных), а также даны таблицы микрофотографий.

фій. Авторами принятая классификация диатомовых водорослей Л. Медлин и И. Качмарской (Medlin et Kaczmarska, 2004), позднее модифицированная (Medlin, 2016).

В описаниях даны ссылки на литературные источники с изображениями таксона, статус названия, синонимика, диагноз. При составлении диагнозов обобщены результаты собственных измерений авторов и данные из литературных источников. При описании видов и внутривидовых таксонов даны сведения об экологических предпочтениях видов (по оригинальным и литературным данным), об их находках в изученных осадках озер Илавского Поозерья и в эемских отложениях на Гарволинской равнине, а также в целом об их распространении на территории Польши.

Информация об экологических предпочтениях каждого вида имеет особую ценность как совокупность данных о параметрах водной среды обитания (местообитание, соленость, pH, температура, трофичность, сапрробность, электропроводность, проточность, увлажненность, минерализация, концентрация питательных веществ, особенности азотного обмена, органическое загрязнение, период сезонных пиков в развитии, географическое распространение и др.).

Не менее цennыми являются оригинальные микрофотографии водорослей из изученных авторами озерных голоценовых и эемских отложений Польши. Благодаря этим фотографиям флора диатомей прекрасно проиллюстрирована. Всего в атласе помещено 120 таблиц микрофотографий с более чем 2400 снимками диатомовых створок. Большая часть фотографий выполнена в световом микроскопе; представлено также около 30 изображений в СЭМ.

В монографии помещены **список литературы** из более чем 750 источников, а также **список диатомовых таксонов** – полный список всех родов, видов и внутривидовых таксонов пресноводных ископаемых и современных диатомовых водорослей Польши из классов Coscinodiscophyceae и Mediophyceae и подкласса Fragilariphycidae. Нужно подчеркнуть, что при составлении списка таксонов была выполнена большая работа по ревизии таксонов и приведению валидных названий. Всего в списке насчитывается 270 видов и разновидностей диатомей из 38 родов, в том числе 97 новых для территории Польши таксонов и 12 впервые описанных комбинаций и разновидностей. В списке также есть некоторое количество морских, солоноватоводно-морских и солоноватоводных таксонов, которые нечасто, однако встречаются в морских заливах и эстуариях.

Вне всякого сомнения, монография “Recent and fossil freshwater diatoms of Poland: taxonomy, distribution and their significance in the environmental reconstruction. Part 1. Coscinodiscophyceae, Mediophyceae and Fragilariphycidae” (Zalat et al., 2022) является значимым научным трудом в области диатомологии и будет востребована специалистами, поскольку в ней:

- впервые выполнено обобщение всех сведений о таксонах диатомовых водорослей из групп Coscinodiscophyceae, Mediophyceae и Fragilariphycidae, обнаруженных в составе диатомовых комплексов различных водоемов и водотоков плейстоцена и голоцена в Польше, и приведен их список, составленный с использованием новейшей таксономии и номенклатуры, включающий в том числе 97 новых для Польши таксонов и 12 новых комбинаций и разновидностей;

- приведены уточненные описания и оригинальные микрофотографии, которые позволяют специалистам (альгологам, геологам, экологам) успешно идентифицировать современные и ископаемые пресноводные диатомовые водоросли в процессе их изучения не только в Польше, но и в других регионах Европы и мира;

- собраны и максимально полно даны сведения об экологических предпочтениях видов, необходимые в палеолимнологических исследованиях и в биомониторинге.

По существу, авторами монографии на высоком научном уровне начата и уже частично реализована работа по составлению крупнейшей сводки по современным и ископаемым пресноводным диатомовым водорослям Польши. Выражаем надежду, что в ближайшем будущем будут подготовлены к изданию следующие ее три части.

Максим Богдасаров,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
член-корреспондент НАН Беларуси,
Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина

Светлана Демидова,
кандидат геолого-минералогических наук,
Государственное предприятие «НПЦ по геологии», филиал «Институт геологии»



Короновский, Н. В. Земля: таинственная и незнакомая. Просто о сложном / Н. В. Короновский, Г. В. Брянцева. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 152 с.

В книге рассмотрены проблемы строения Земли, а именно: теории, описывающие ее происхождение и строение, различные процессы и геологические события, происходившие и происходящие на нашей планете.

Книга рекомендована читателям, интересующимся планетой Земля.



Трофимов, В. Т. Инженерная геология : учебник / В. Т. Трофимов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2023. – 573 с.

В учебнике представлены теоретические и содержательные положения инженерной геологии: содержание, структура, задачи, положение в системе геологического знания; научные направления инженерной геологии: грунтоведение, инженерная геодинамика и региональная инженерная геология; рассмотрены общие положения методики инженерно-геологических исследований.

Рекомендуется для студентов и аспирантов классических, геологоразведочных и горных университетов, а также специалистов, связанных с изучением инженерно-геологических условий и решением проблем окружающей среды.



Королёв, В. А. Теория электроповерхностных явлений в грунтах и их применение / В. А. Королёв. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : КДУ, Добросвет, 2023. – 498 с.

В книге изложена теория электроповерхностных явлений в грунтах (электроосмос, электрофорез, поверхностная проводимость и др.), анализируются особенности двойного электрического слоя в грунтах, поверхностная проводимость, другие явления, сопутствующие электрохимическим процессам.

Рекомендуется специалистам в области инженерной и экологической геологии, геоэкологии, строительства, промышленной экологии, гидрогеологии, геокриологии, нефтяной геологии, геохимии, почвоведения, геофизики, географии, а также для студентов и аспирантов геологических вузов.



К.Е. Питьева, М.С. Орлов, С.М. Чесалов, Е.И. Барановская

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ
ГИДРОГОХИМИЯ**

Монография

RU
SCIence
RUSSCIENCE.COM

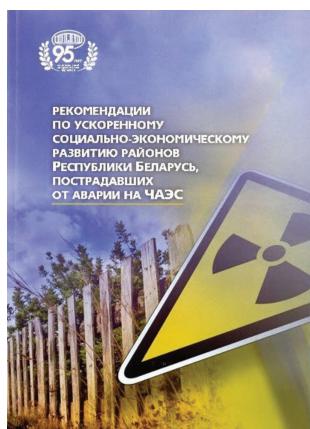

**Экспериментальная гидрогохимия / К. Е. Питьева [и др.]. – М. :
ООО «Русайнс», 2023. – 224 с.**

В монографии рассматриваются теоретические и прикладные вопросы изучения гидрогоесферы, предложено генетическое обоснование теоретических вопросов, таких как подземное захоронение промстоков и установление гидрогохимических условий слабо изученных территорий (артезианских бассейнов предгорных прогибов). Рекомендуется для студентов – магистров вузов и специалистов, занимающихся изучением формирования состава, свойств и условий, развития в природно-техногенных обстановках подземных вод, вмещающих и окружающих их сред.



Каталог коллекции к монографии Э. И. Эйхвальда «Палеонтология России. Древний период. Флора граувакковой, горноизвестковой и медистосланцеватой формаций России» (1854) / сост. В. В. Аркадьев. – СПб. : Изд-во «ЛЕМА», 2023. – 246 с.

В каталоге представлена информация о 165 образцах коллекции Э. И. Эйхвальда к монографии «Палеонтология России. Древний период. Флора граувакковой, горноизвестковой и медистосланцеватой формаций России» (1854). Даны изображения 128 видов, отнесенных Э. И. Эйхвальдом к водорослям, папоротникам, плауновым, хвощам, двудольным и однодольным растениям. Коллекция хранится в Палеонтологическом музее Санкт-Петербургского государственного университета.



Рекомендации по ускоренному социальному-экономическому развитию районов Республики Беларусь, пострадавших от аварии на ЧАЭС / В. Л. Гурский [и др.] ; Нац. акад. наук Беларусь, Ин-т экономики [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2023. – 99 с.

Обоснованы приоритетные направления повышения потенциала пострадавших районов и даны рекомендации по их ускоренному социальному-экономическому развитию.

Издание подготовлено по результатам выполнения задания «Разработать рекомендации по ускоренному социальному-экономическому развитию пострадавших от аварии на ЧАЭС районов Республики Беларусь на основе комплексной оценки уровня их экономического потенциала и геологической изученности территории зон отчуждения, отселения» по п. 37 «Научное решение проблем по радиационной защите и адресному применению защитных мер» Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 годы.

Предназначено для работников органов государственного управления, субъектов народного хозяйства, научных сотрудников, преподавателей, аспирантов, студентов учебных заведений различного профиля.

ПРАВІЛЫ ДЛЯ АЎТАРАЎ

I. У часопісе «Літасфера» публікуюцца арыгінальныя (раней не апублікованыя) артыкулы, якія адпавядаюць тэматыцы часопіса. Да артыкула, які накіроўваеца ў рэдакцыю часопіса, павінны прыкладацца наступныя дакументы:

раздрукаваны тэкст артыкула, падпісаны аўтарам або аўтарамі, і яго эквівалентная электронная копія;
дазвол на апублікаванне прадстаўленых матэрыялаў у адкрытым доступе;

рэцэнзія (пры наяўнасці);

суправаджальны ліст ад арганізацыі.

II. Артыкул прадастаўляеца ў рэдакцыю ў адным экзэмпляры на беларускай, рускай або англійскай мове; шрыфт – Times New Roman, кегль – 12 (у тым ліку ў формулах); міжрадковы інтэрвал – 1,15; абзац – 1,25 см; палі: злева – 2,5 см, знізу – 2 см, справа і зверху – 1,5 см; нумар старонкі прадстаўляеца ўнізе па цэнтры. Занумараўваныя формулы выносяцца ў асобны радок.

III. Артыкул павінен мець наступную структуру:

індэкс па ўніверсальнай дзесятковай класіфікацыі (УДК);

назва артыкула (вялікія літары, паўтлусты шрыфт, выраўноўванне па цэнтры);

ініцыялы і прозвішчы аўтараў (паўтлусты шрыфт, выраўноўванне па цэнтры);

поўнае найменне ўстаноў з указаннем паштовага адраса, паштовага індэksа, горада, краіны для кожнага аўтара, адрас электроннай пошты аўтара, з якім можна весці перапіску (звычайны шрыфт, выраўноўванне па цэнтры, у канцы радка знакі прыпынку не ставяцца);

анатацыя на мове артыкула (100–200 слоў курсівам без абзацнага водступу, выраўноўванне па шырыні);

ключавыя слова на мове артыкула (5–10 слоў, звычайны тэкст без абзацнага водступу, выраўноўванне па шырыні);

асноўны тэкст артыкула;

спіс выкарыстаных крыніц;

анатацыя (не менш за 100 слоў) і ключавыя слова (5–10 слоў) на дзвюх іншых афіцыйных мовах часопіса.

Анатацыя (аўтарскае рэзюмэ) павінна коротка прадстаўляць вынікі працы і быць інфарматыўнай, структураванай, зразумелай у адрыве ад асноўнага тэксту артыкула.

Ключавыя слова – набор слоў, якія адлюстроўваюць змест тэксту ў тэрмінах аб'екта, навуковай галіны і метадаў даследавання.

Асноўны тэкст артыкула павінен складаць не больш за два аўтарскія аркушы (2 аўт. арк. – каля 80 тыс. знакаў, або 32 с.). Аб'ём кароткіх паведамленняў, рэцэнзій і хронікі – да 0,5 аўт. арк. (20 тыс. знакаў, або 8 с.). У аўт. артыкула таксама ўваходзяць табліцы і малюнкі, колькасць якіх не павінна перавышаць 15. Выкладзены матэрыял павінен быць дакладна структураваным і змяшчаць раздзелы: уводзіны, мэты і задачы, метады, вынікі, заключэнне (высновы). Назвы раздзелаў друкуюцца вялікімі літарамі паўтлустым шрыфтом з абзацным водступам, выраўноўванне па цэнтры.

Спіс выкарыстаных крыніц (рэкамендуецца да 40 спасылак) афармляеца ў адпаведнасці з патрабаваннямі Вышэйшай атэстацийнай камісіі Рэспублікі Беларусь (ДАСТ 7.1–2003). Цытаваная літаратура прыводзіцца агульным спісам у алфавітным парадку, спасылкі ў тэксле даюцца парадковым нумарам у квадратных дужках (напр., [1]), раздзяляльнік – крапка з коскай; спасылкі на неапублікованыя працы не дапускаюцца. У выпадку пералічэння некалькіх крыніц у адной спасылцы яны падзяляюцца крапкай з коскай (напр., [1; 2; 3; 4 і г. д.]).

У канцы артыкула прыводзіцца дзве анатацыі ў наступным парадку: у рускамоўных артыкулах – спачатку на беларускай мове, затым на англійской; у англамоўных – спачатку на беларускай, потым на рускай; у беларускамоўных – спачатку на рускай, потым на англійской. Пасля тэксту анатацыі прыводзіцца ключавыя слова на адпаведнай мове (5–10 слоў, звычайна напісанне, без абзацнага водступу, выраўноўванне па шырыні).

IV. Электронны варыянт артыкула прадастаўляеца на электронным носябіце або дасылаеца па электроннай пошце ў рэдакцыю часопіса – litasfera@geologiya.by. Тэкст павінен быць набраны ў фармаце, які падтрымліваеца праграмай Microsoft Word (рэкамендуемыя фарматы *.doc, *.docx), формулы – у рэдактары MathType. Устаўка сімвалau выконваеца праз меню «Устаўка / Сімвал», верхня і ніжня індэксы (C^2 , C_4) – праз меню «Шрыфт / Верхні індэкс», «Шрыфт / Ніжні індэкс». Для вылучэння тэкстовых фрагментаў выкарыстоўваеца паўтлусты шрыфт ці курсіў. Для раздзялення дзесятковых дробоў выкарыстоўваеца коска (у артыкулах на англійскай мове – крапка).

V. Чорна-белая і каліровыя малюнкі ўстаўляюцца ў тэкст артыкула пасля першай згадкі, а таксама даюцца ў выглядзе асобных файлаў у высокім распазнаванні (не менш за 300 пунктаў на цяглу). Пажадана таксама падаваць іх у фармаце арыгінала (Corel, дыяграмы ў Excel, Origin Pro і г. д.). Тэкст на малюнках набіраеца асноўнай гарнітурай, прычым напісанне сімвалau (грэчаскае, лацінскае) павінна адпавядаць іх напісанню ў тэксле. Памер кегля сувімерны з памерам малюнка. Фатографіі падаюцца ў выглядзе файлаў (tif, jpg, png, eps) і ў надрукаваным выглядзе.

VI. Артыкул, які паступіць у рэдакцыю, накіроўваеца на рэцэнзію. Асноўным крытэрыем мэтазгоднасці публікацыі з'яўляюцца навізна і інфарматыўнасць артыкула. Артыкулы не па профілі часопіса вяртаюцца аўтарам пасля заключэння рэдкалегіі. Аформленыя не па правілах часопіса артыкулы рэдакцыяй не прымаюцца.

Матэрыялы для публікацыі трэба накіроўваць на адрес: вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, к. 228, рэдакцыя навуковага часопіса «Літасфера», 220084, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь, тэл. для даведак: +375 17 395 99 78; альбо па электроннай пошце: litasfera@geologiya.by.

Часопіс выходзіць 2 разы на год, па адным нумары на паўгоддзе, артыкулы для апублікавання прымаюцца круглагадова.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

I. В журнале «Літасфера» публикуются оригинальные (ранее не опубликованные) статьи, соответствующие тематике журнала. К статье, направляемой в редакцию журнала, должны прилагаться следующие документы:

распечатанный текст статьи, подписанный автором или авторами и его эквивалентная электронная копия;
разрешение на опубликование представленных материалов в открытом доступе;
рецензия (при наличии);
сопроводительное письмо от организации.

II. Статья предоставляется в редакцию в одном экземпляре на белорусском, русском или английском языке; шрифт – Times New Roman, кегль – 12 (в том числе в формулах); межстрочный интервал – 1,15; абзац – 1,25 см; поля: слева – 2,5 см, снизу – 2 см, справа и сверху – 1,5 см; номер страницы проставляется внизу по центру. Занумерованные формулы выносятся в отдельную строку.

III. Статья должна иметь следующую структуру:

индекс по универсальной десятичной классификации (УДК);

название статьи (прописные буквы, полужирный шрифт, выравнивание по центру);

инициалы и фамилии авторов (полужирный шрифт, выравнивание по центру);

полное наименование учреждений с указанием почтового адреса, почтового индекса, города, страны для каждого автора, адрес электронной почты автора, с которым можно вести переписку (обычный шрифт, выравнивание по центру, в конце строки знаки препинания не ставятся);

аннотация на языке статьи (100–200 слов курсивом без абзацного отступа, выравнивание по ширине);

ключевые слова на языке статьи (5–10 слов без абзацного отступа, выравнивание по ширине);

основной текст статьи;

список использованных источников;

аннотация (не менее 100 слов) и ключевые слова (5–10 слов) на двух других официальных языках журнала.

Аннотация (авторское резюме) должна кратко представлять результаты работы и быть информативной, структурированной, понятной в отрыве от основного текста статьи.

Ключевые слова – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования.

Основной текст статьи должен составлять не более двух авторских листов (2 авт. л. – около 80 тыс. знаков, или 32 с.). Объем коротких сообщений, рецензий и хроники – до 0,5 авт. л. (20 тыс. знаков, или 8 с.). В объем статьи также входят таблицы и рисунки, число которых не должно превышать 15. Изложенный материал должен быть четко структурированным и содержать разделы: введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). Названия разделов печатаются прописными буквами полужирным шрифтом с абзацным отступом, выравнивание по центру.

Список использованных источников (рекомендуется до 40 ссылок) оформляется в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (ГОСТ 7.1-2003). Цитированная литература приводится общим списком в алфавитном порядке, ссылки в тексте даются порядковым номером в квадратных скобках (напр., [1]), разделитель – точка с запятой; ссылки на неопубликованные работы не допускаются. В случае перечисления нескольких источников в одной ссылке они разделяются точкой с запятой (напр., [1; 3; 8 и т. д.]).

В конце статьи приводятся две аннотации в следующем порядке: в русскоязычных статьях – сначала на белорусском языке, затем на английском; в англоязычных – сначала на белорусском, затем на русском; в белорусскоязычных – сначала на русском, затем на английском. После текста аннотации указываются ключевые слова на соответствующем языке (5–10 слов, обычное начертание, без абзацного отступа, выравнивание по ширине).

IV. Электронный вариант статьи предоставляется на электронном носителе или присыпается по электронной почте в редакцию журнала – litasfera@geologiya.by. Текст должен быть набран в формате, поддерживаемом программой Microsoft Word (рекомендуются форматы *.doc, *.docx), формулы – в редакторе MathType. Вставка символов выполняется через меню «Вставка / Символ», верхние и нижние индексы (C_2^2 , C_4) – через меню «Шрифт / Верхний индекс», «Шрифт / Нижний индекс». Для выделения текстовых фрагментов используется полужирный шрифт или курсив. Для разделения десятичных дробей используется запятая (в статьях на английском языке – точка).

V. Черно-белые и цветные рисунки вставляются в текст статьи после первого упоминания, а также даются в виде отдельных файлов в высоком разрешении (не менее 300 точек на дюйм). Желательно также предоставлять их в формате оригинала (Corel, диаграммы в Excel, Origin Pro и т. д.). Текст на рисунках набирается основной гарнитурой, причем начертание символов (греческое, латинское) должно соответствовать их начертанию в тексте. Размер кегля соизмерим с размером рисунка. Фотографии предоставляются в виде файлов (tif, jpg, png, eps и др.) и в распечатанном виде.

VI. Поступившая в редакцию статья направляется на рецензию. Основным критерием целесообразности публикации являются новизна и информативность статьи. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии. Оформленные не по правилам журнала статьи редакцией не принимаются.

Материалы для публикации следует направлять по адресу: ул. Академика Купревича, 7, к. 228, редакция научного журнала «Літасфера», 220084, г. Минск, Республика Беларусь, тел. для справок: +375 17 395 99 78; либо по электронной почте: litasfera@geologiya.by.

Журнал выходит 2 раза в год, по одному номеру в полугодие, статьи для опубликования принимаются круглогодично.

AUTHOR GUIDELINES

I. The journal "Litasfera" publishes original (previously unpublished) articles that correspond to the topics of the journal. The following documents must be attached to the article sent to the editorial office:

- printed text of the article, signed by the author / authors and its equivalent electronic copy;
- permission to publish submitted materials in the public domain;
- review (if available);
- cover letter from the organization.

II. The article is submitted to the editorial office in one copy in Belarusian, Russian or English; font – Times New Roman, size – 12 (including in formulas); line spacing – 1.15; paragraph – 1.25 cm; margins: left – 2.5 cm, bottom – 2 cm, right and top – 1.5 cm; the page number is placed at the bottom center. Numbered formulas are placed on a separate line.

III. The article should have the following structure:

- Universal Decimal Classification index (UDC);
- title of the article (capital letters, bold type, center alignment);
- initials and surnames of authors (bold type, center alignment);
- full name of the institutions with the postal address, postal code, city, country for each author, the corresponding author's e-mail address (regular font, center alignment, no punctuation marks at the end of the line);
- abstract in the language of the article (100–200 words in italics without paragraph indent, justified alignment);
- keywords in the language of the article (5–10 words, plain text without paragraph indent, justified alignment);
- main text of the article;
- list of references;
- abstracts (at least 100 words) and keywords (5–10 words) in two other official languages of the journal.

The abstract (author's summary) should briefly present the results of the work and be informative, structured, understandable in isolation from the main text of the article.

Keywords are a list of words that reflect the content of the text in terms of the object, scientific field and research methods.

The main text of the article should be no more than two author's sheets (2 auth. sheets are about 80 thousand characters or 32 pages). The volume of research briefs, reviews and chronicles is up to 0.5 author's sheet (20 thousand characters or 8 pages). The volume of the article also includes tables and figures, the number of which should not exceed 15. The material presented must be clearly structured and contain sections: introduction, goals and objectives, methods, results, conclusions. Section titles are printed in capital letters, bold, with paragraph indent, centered.

The list of references (up to 40 links recommended) is drawn up in accordance with the requirements of the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus (GOST 7.1–2003). The cited literature is listed in alphabetical order, references in the text are given by number in square brackets (e. g., [1]), the separator is a semicolon; references to unpublished works are not allowed. In case of listing multiple sources in one link, they are separated by a semicolon (e. g., [1; 2; 3; 4, etc.]).

At the end of the article, two abstracts are given in the following order: in Russian-language articles the first one is in Belarusian, the second one is in English; in English – in Belarusian, then in Russian; in Belarusian – in Russian, then in English. After the text of the abstract, the keywords in the corresponding language are given (5–10 words, regular font, without paragraph indent, justified).

IV. The electronic version of the article is provided on electronic media or sent by e-mail to the editorial office of the journal – litasfera@geologiya.by. The text must be typed in a format supported by Microsoft Word (*.doc, *.docx formats are recommended), formulas – in the MathType editor. Inserting characters are done through the "Insert / Symbol" menu, superscripts and subscripts (C^2 , C_4) – through the menu "Font / Superscript", "Font / Subscript". Bold or italics are used to highlight text fragments. A comma is used to separate decimals (in articles in English – a period).

V. Black-and-white and color drawings are inserted into the text of the article after the first mention, and are also provided as separate files in high resolution (at least 300 dpi). It is also desirable to provide them in the original format (Corel, diagrams in Excel, Origin Pro, etc.). The text in the figures is typed in the main typeface, and the style of the characters (Greek, Latin) must correspond to their style in the text. The font size is commensurate with the size of the picture. Photos are provided as files (tif, jpg, png, eps) and printed.

VI. The article received by the editorial office is sent for review. The main criterion for the expediency of publication is the novelty and information content of the article. Articles not related to the profile of the journal are returned to the authors after the conclusion of the editorial board. Articles that do not follow the rules of the journal are not accepted by the editors.

Materials for publication should be sent to: 7 Akademika Kuprevicha St, room 228, editorial office of the scientific journal "Litasfera", 220084, Minsk, Republic of Belarus, tel. for inquiries: +375 17 395 99 78; or by e-mail: litasfera@geologiya.by.

The journal is published twice a year, one issue per six months, articles are accepted for publication year-round.

Навуковае выданне

ЛІТАСФЕРА

2 (59)

2023

Камп'ютарная вёрстка *A. A. Мікулевіч*
Карэктар *I. В. Счаснюк*

Падпісана ў друк 23.11.2023. Фармат 60×90/8.

Папера каландраваная. Друк лічбавы.

Ум. друк. арк. 22,75. Ул.-выд. арк. 15,2.

Наклад 100 экз. Заказ 23220_1.

Заснавальнік: Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства
«Навукова-вытворчы цэнтр па геалогіі».

Вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь.

Тэл. (+375 17) 248 69 24.

E-mail: litasfera@geologiya.by.

www.lithosphere.by.

Republican Unitary Enterprise "Research and Production Center for Geology".
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus.

Паліграфічнае выкананне:
таварыства з абмежаванай адказнасцю «Колорград».

ЛП № 02330/474 ад 08.09.2015.

Зав. Веласіпедны, 5-904, 220033, Мінск.

+375 17 361 91 40

post@segment.by

segment.by