

Міністэрства прыродных рэсурсаў і аховы навакольнага асяроддзя Рэспублікі Беларусь

Рэспубліканскае ўнітарнае прадпрыемства «Навукова-вытворчы цэнтр па геалогіі»

ЛІТАСФЕРА

1 (60)

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. Мацвееў, А. П. Мох, В. І. Пашкевіч, Г. В. Трацякова,
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. Шляўпа (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: усходняя сценка кар'ера Сялянская Ніва радовішча Глушкавічы. Фота У. А. Рондак

ЗМЕСТ

■ ГЕАЛОГИЯ

В. В. Мурашка, Дз. П. Плакс КАНАДОНТЫ І ІХТЫЯФАУНА З ЛОХКАЎСКИХ АДКЛАДАЎ РАЗРЭЗУ СВДРАВІНЫ ОРЛЯ 28 (ПАДЛЯСКА-БРЭСЦКАЯ ўПАДЗІНА, БЕЛАРУСЬ)	4
Г. В. Шыдлоўская ПАЛІНАСТРАТЫГРАФІЯ І ўМОВЫ ФАРМІРАВАННЯ АДКЛАДАЎ НІЖНІНСКАГА І МАГІЛЁўСКАГА ПАДГАРЫЗОНТАЎ БЕЛАВЕЖСКАГА ГАРЫЗОНТУ ПЛЕЙСТАЦЭНУ БЕЛАРУСІ	12
Т. Б. Рылова АБГРУНТАВАННЕ ўЗРОСТУ ПЛЕЙСТАЦЭНАВЫХ АДКЛАДАЎ КАЛЯ Г. БЫХАВА МАГІЛЁўСКАЙ ВОБЛАСЦІ І ПАЛЕАГЕАГРАФІЧНЫЯ РЭКАНСТРУКЦЫІ ПА ПАЛІНАЛАГІЧНЫХ ДАДЗЕННЫХ	32
А. Ю. Трацэўская ЛІСЦІД У ІНЖЫНЕРНАЙ ГЕАЛОГІІ	43
А. М. Галкін, А. Б. Тарбенка, І. А. Кресоўская, А. І. Паўлоўскі ДАСЛЕДАВАННЕ АПОЎЗНЕВЫХ ПРАЦЭСАЎ У АДКОСАХ БОРТАЎ КАР'ЕРА ГЛІН «ЛУКОМЛЬ-1» ІНЖЭНЕРНА-ГЕАЛАГІЧНЫМІ І ДЫСТАНЦЫЙНЫМІ МЕТАДАМІ	54

■ ГЕАХІМІЯ

А. А. Махнач, Б. Г. Пакроўскі, В. В. Мурашка ІЗАТОПЫ ВУГЛЯРОДУ І КІСЛАРОДУ ў ВЕРХНЯЎФЕЛЬСКИХ АДКЛАДАХ БЕЛАРУСІ	69
А. А. Махнач, Б. Г. Пакроўскі, Г. Дз. Стральцова, А. Г. Лапцэвіч, В. В. Мурашка С-, О-, S-ІЗАТОПНАЯ ХЕМАСТРАТЫГРАФІЯ НІЖНЕ- І СЯРЭДНЕДЭВОНСКИХ АДКЛАДАЎ У ЗОНЕ СУЧЛЯНЕННЯ АРШАНСКАЙ ўПАДЗІНЫ І ВАРОНЕЖСКАЙ АНТЭКЛІЗЫ (ПАРАМЕТРЫЧНАЯ СВДРАВІНА КЛІМАВІЦКАЯ)	80

■ КАРЫСНЫЯ ВЫКАПНІ

А. С. Грудзінін АСАБЛІВАСЦІ ДАРАЗВЕДКІ АДКЛАДАЎ ПОЛАЦКАГА ГАРЫЗОНТУ І ЛАНСКАГА НАДГАРЫЗОНТУ РЭЧЫЦКАГА НАФТАВАГА РАДОВІШЧА З ўЛІКАМ ЛІТОЛАГА-ФАЦЫЯЛЬНАГА АНАЛІЗУ	95
А. В. Бібікава ПРАЦЭСЫ ФАРМІРАВАННЯ НАФТАМАЦЫЯРЫНСКИХ І ВУГЛЕВАДАРОДЗМЯШЧАЛЬНЫХ ПАРОД У НІЖНЕФАМЕНСКИХ АДКЛАДАХ ЦЭНТРАЛЬНАЙ ЧАСТКІ БУЙНАВІЦКА-НАРАЎЛЯНСКАЙ ТЭКТАНІЧНАЙ СТУПЕНІ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ	102
А. А. Цішкоў, І. Ю. Мармылёў, Ю. С. Шпока, А. В. Шэлюта ПРАЯВА ДЭФАРМАЦЫЙНЫХ ПРАЦЭСАЎ У ПАРОДАХ-КАЛЕКТАРАХ ПЕТРЫКАЎСКАЙ ЗАЛЕЖЫ ГЕАЛАГІЧНАГА НАФТАВАГА РАДОВІШЧА ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ	113
Н. І. Кандраценка ГІДРАГЕАХІМІЧНАЕ РАЯНІРАВАННЕ І АЦЭНКА ПЕРСПЕКТЫЎ НАФТАГАЗАНОСНАСЦІ МІЖСАЛЯВЫХ І ВЕРХНЕСАЛЯНОСНЫХ АДКЛАДАЎ ПАўДНЁВАЙ СТРУКТУРНА-ТЭКТАНІЧНАЙ ЗОНЫ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ	120
А. А. Шаруноў ПАЛЕАТЭКТАНІЧНЫ АНАЛІЗ ВАЛАЎСКАЙ ПЛОШЧЫ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ ДЛЯ ВЫЗНАЧЭННЯ ПРЫЯРЫТЭТНЫХ НАФТАПАШУКОВЫХ АБ'ЕКТАЎ	137
А. А. Чэкан, А. А. Кудрашоў, Д. А. Гаспадароў, І. В. Лымар, А. А. Цыганкоў ПАР-ПАЛІМЕРНАЕ ЗАВАДНЕННЕ ПРЫ РАСПРАЦОЎЦЫ ПАКЛАДАЎ НАФТЫ ў ДЭВОНСКИХ КАРБАНАТНЫХ КАЛЕКТАРАХ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ	154
І. Р. Захарыя, В. М. Сілуянаў АБІЯГЕННАЯ КАНЦЭПЦЫЯ ПАХОДЖАННЯ НАФТЫ І СТРАТЭГІЯ ГЕАЛАГАРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ	175
■ ДАВЕДАЧНЫЯ МАТЭРЫЯЛЫ	
С. У. Дзямідава, П. А. Сахарук АГЛЯД ПУБЛІКАЦЫЙ, ЯКІЯ ўВАЙШЛІ ў СПРАВАЗДАЧУ СТРАТЫГРАФІЧНАЙ КАМІСІІ БЕЛАРУСІ ЗА 2023 ГОД.....	183
■ ЮБІЛЕІ	189
Тамара Рыгораўна Абухоўская (да 80-годдзя з дня нараджэння) Уладзімір Міхайлавіч Шымановіч (да 75-годдзя з дня нараджэння) Васіль Іванавіч Пашкевіч (да 70-годдзя з дня нараджэння)	
■ ПАМ'ЯЦІ ВУЧОНАГА	194
Марат Гумеравіч Ясавееў (да 75-годдзя з дня нараджэння) Мікалай Дзмітрыевіч Міхайлаў (да 70-годдзя з дня нараджэння)	
■ ХРОНІКА	196
■ НАВІНКІ ЛІТАРАТУРЫ	199
■ ПРАВІЛЫ ДЛЯ АўТАРАЎ	202

СОДЕРЖАНИЕ – CONTENT

■ ГЕОЛОГИЯ – GEOLOGY

О. Murashko, D. Plax (О. В. Мурашко, Д. П. Плякс)

CONODONTS AND ICHTHYOFAUNA FROM THE LOSHKOVIAN SEDIMENTS OF THE ORLIA 28 BOREHOLE SECTION (PODLASIE-BREST DEPRESSION, BELARUS) (КОНОДОНТЫ И ИХТИОФАУНА ИЗ ЛОХКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗРЕЗА СКВАЖИНЫ ОРЛЯ 28 (ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКАЯ ВПАДИНА, БЕЛАРУСЬ))4

А. В. Шидловская

ПАЛИНОСТРАТИГРАФИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНИНСКОГО И МОГИЛЕВСКОГО ПОДГОРИЗОНТОВ БЕЛОВЕЖСКОГО ГОРИЗОНТА ПЛЕЙСТОЦЕНА БЕЛАРУСИ12

Т. Б. Рылова

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗРАСТА ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БЛИЗ Г. БЫХОВА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ32

Е. Ю. Трацевская

ЛЕССОИД В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ43

А. Н. Галкин, А. Б. Торбенко, И. А. Красовская, А. И. Павловский

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТКОСАХ БОРТОВ КАРЬЕРА ГЛИН «ЛУКОМЛЬ-1» ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ И ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ54

■ ГЕОХИМИЯ – GEOSCHEMISTRY

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

ИЗОТОПЫ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА В ВЕРХНЕЙФЕЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛАРУСИ69

А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, Г. Д. Стрельцова, А. Г. Лапцевич, О. В. Мурашко

С-, О-, S-ИЗОТОПНАЯ ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ НИЖНЕ- И СРЕДНЕДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ОРШАНСКОЙ ВПАДИНЫ И ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ (ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СКВАЖИНА КЛИМОВИЧСКАЯ)80

■ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ – MINERAL RESOURCES

А. С. Грудинин

ОСОБЕННОСТИ ДОРАЗВЕТКИ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЛОЦКОГО ГОРИЗОНТА И ЛАНСКОГО НАДГОРИЗОНТА РЕЧИЦКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С УЧЕТОМ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА95

Е. В. Бибикина

ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ И УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД В НИЖНЕФАМЕНСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БУЙНОВИЧСКО-НАРОВЛЯНСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТУПЕНИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА102

А. А. Тишков, И. Ю. Мармылёв, Ю. С. Шпока, А. В. Шелюто

ПРОЯВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДАХ-КОЛЛЕКТОРАХ ПЕТРИКОВСКОЙ ЗАЛЕЖИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА113

Н. И. Кондратенко

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕЖСОЛЕВЫХ И ВЕРХНЕСОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА120

А. А. Шарунов

ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАЛАНСКОЙ ПЛОЩАДИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НЕФТЕПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ137

А. О. Чекан, А. А. Кудряшов, Д. А. Господарев, И. В. Лымарь, А. О. Цыганков

ПАВ-ПОЛИМЕРНОЕ ЗАВОДНЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В ДЕВОНСКИХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА154

И. Р. Захария, В. Н. Силуянов

АБИОГЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ НЕФТИ И СТРАТЕГИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ175

■ СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ – REFERENCE MATERIALS

С. В. Демидова, П. О. Сахарук

ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ, ВОШЕДШИХ В ОТЧЕТ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ КОМИССИИ БЕЛАРУСИ ЗА 2023 ГОД183

■ ЮБИЛЕИ – ANNIVERSARIES.....189

Тамара Григорьевна Обуховская (к 80-летию со дня рождения)

Владимир Михайлович Шиманович (к 75-летию со дня рождения)

Василий Иванович Пашкевич (к 70-летию со дня рождения)

■ ПАМЯТИ УЧЕНОГО – IN MEMORIAM194

Марат Гумерович Ясоев (к 75-летию со дня рождения)

Николай Дмитриевич Михайлов (к 70-летию со дня рождения)

■ ХРОНИКА – CHRONICLE196

■ НОВИНКИ ЛИТЕРАТУРЫ – NEW LITERATURE199

■ ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ – AUTHOR GUIDELINES202

ГЕАЛОГІЯ

UDC 566/569 (476.7) + 567:551.734.2 (476.7)

CONODONTS AND ICHTHYOFAUNA FROM THE LOCHKOVIAN SEDIMENTS
OF THE ORLIA 28 BOREHOLE SECTION (PODLASIE-BREST DEPRESSION, BELARUS)O. Murashko¹, D. Plax²¹State Enterprise "Research and Production Center for Geology"

Branch "Institute of Geology"

7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus

e-mail: volum@tut.by

²Belarusian National Technical Institute

65 Nezavisimosti Ave, 220013, Minsk, Belarus

e-mail: agnatha@mail.ru

The paper presents data on conodonts and ichthyofauna from sediments of the Lochkovian Stage of the Lower Devonian, discovered in the Orlia 28 borehole, that was drilled in the territory of Belarus within the Podlasie-Brest Depression. Eight conodont taxa and the same number of agnathan and fish taxa were identified. Stratigraphically important species in the identified conodont assemblage are *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004) and *Wurmiella excavata maxima* (Drygant, 2010), that are the zonal species of the Borshchovo Regional Stage and are among the index taxa of the Caudicriodus hesperius Zone. Stratigraphically important vertebrate species in the identified ichthyofauna are *Turinia pagei* (Powrie, 1870) and *Nikolivia gutta* Karatajūtė-Talimaa, 1978. The first species is zonal for deposits of the Borshchovo and Chortkov Regional Stages, and the second species is typical for the Borshchovo Regional Stage.

Keywords: Belarus, Podlasie-Brest Depression, conodonts, ichthyofauna, Lochkovian sediments, Lower Devonian.

INTRODUCTION

In Belarus sediments of the Lochkovian Stage of the Lower Devonian, represented by the Borshchovo and Chortkov Regional Stages, are distributed in the southwestern part of the country in the Podlasie-Brest Depression and in the Volyn Monocline (Fig. 1). Conodonts and ichthyofauna of this age were found in three boreholes: Orlia 28, Rataichitsy 12k (Podlasie-Brest Depression) and Tomashovka 11 (Volyn Monocline) [13; 16; 19; 27; 28; 29; 31; 34; 39].

The Orlia 28 borehole was drilled in 1972 near the village of Orlia, Kamenets district, Brest region (Fig. 1). The Lower Devonian sediments occur there in the depth interval of 409.0–450.0 m, and overlie the clayey-marl rocks of the Kustin Regional Stage (Pridoli Series, Upper Silurian), and are covered by conglomerates of the Guadalupian Series of the Permian (Fig. 2).

Palaeontological studies of the core from the Orlia 28 borehole were previously carried out by S. A. Kruchek and V. I. Pushkin [31]. In this article, the authors present data on the study of micro- and mesomeric remains of the ichthyofauna from the sediments of the Kameniki Formation of the Borshchovo Regional Stage in the section of this borehole, as well as the results of a revision of the conodont collection amassed by S. A. Kruchek in the 1970s, and kept in the Department of Stratigraphy

and Tectonics of the Branch "Institute of Geology" of the State Enterprise "Research and Production Center for Geology". Collection includes 190 conodont elements from eight rock samples; photos of the elements are taken on a Chongqing Optec SZ780 stereoscopic microscope.

RESULTS AND DISCUSSION

The sediments of the Kameniki Formation of the Borshchovo Regional Stage of the Lochkovian Stage occur at the depth interval of 409.0–450.0 m, and are represented mainly by gray, light gray, highly dolomitic, bryozoan- and brachiopod-crinoid, algal limestones with few and thin interlayers of gray, greenish-gray, dolomitic marls and gray, dark gray clays. These deposits cover the marl-argillaceous stratum of the Kustin Regional Stage (Pridoli Series of the Upper Silurian), and are overlain by variegated rocks of the Guadalupian Series of the Permian System [23; 31].

Numerous conodont elements of varying degrees of preservation were found in carbonate rocks of the Kameniki Formation (about 35 % of the elements were identified), their color index is 1–2. They are represented mostly by *Zieglerodina* sp., and about a half of the established taxa are *Zieglerodina remscheidensis* (Ziegler, 1960) [42], populated during the Late Silurian – Early Lochkovian (uppermost the Delotaxis

detorta – *Caudicriodus postwoschmidt* Zones) [3; 4; 7; 20]. *Zieglerodina planilingua* (Murphy et Valenzuela-Rios, 1999) [22], *Z. mashkovae* (Drygant, 1984) [5], *Z. formosa* (Drygant, 2010) [6], *Panderodus uncostatus* (Branson et Mehl, 1933) [1], *Wurmiella excavata* (Branson et Mehl, 1933) [1], *W. excavata maxima* (Drygant, 2010) [6] and *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004) [9] were also found there (Plate 1).

The species *Panderodus uncostatus* and *Wurmiella excavata* are species that have a wide stratigraphic range of distribution. They are distributed from the Katian Stage of the Upper Ordovician to the Frasnian Stage of the Upper Devonian, and from the Hirnantian Stage of the Upper Ordovician to the Eifelian Stage of the Middle Devonian, respectively [10; 18]. The

species *Zieglerodina planilingua* is typical for the Silurian – Devonian boundary sediments (Delotaxis detorta – *Caudicriodus hesperius* Zones) [7]. The Lochkovian species *Zieglerodina mashkovae* occur in the *Caudicriodus hesperius* – *Caudicriodus serus* Zones [7]. The species *Zieglerodina formosa* is characteristic of the Lower and Middle Lochkovian (*Caudicriodus hesperius* – *Caudicriodus transiens* Zones) [7]. The Lower Lochkovian taxa *Wurmiella excavata maxima* and *Pandorinellina camelfordensis* are markers for the *Caudicriodus hesperius* Zone [3; 4; 7; 20; 21]. Thus, the conodont assemblage found in the deposits of the Kameniki Formation of the Borshchovo Regional Stage corresponds to the *Caudicriodus hesperius* Zone.

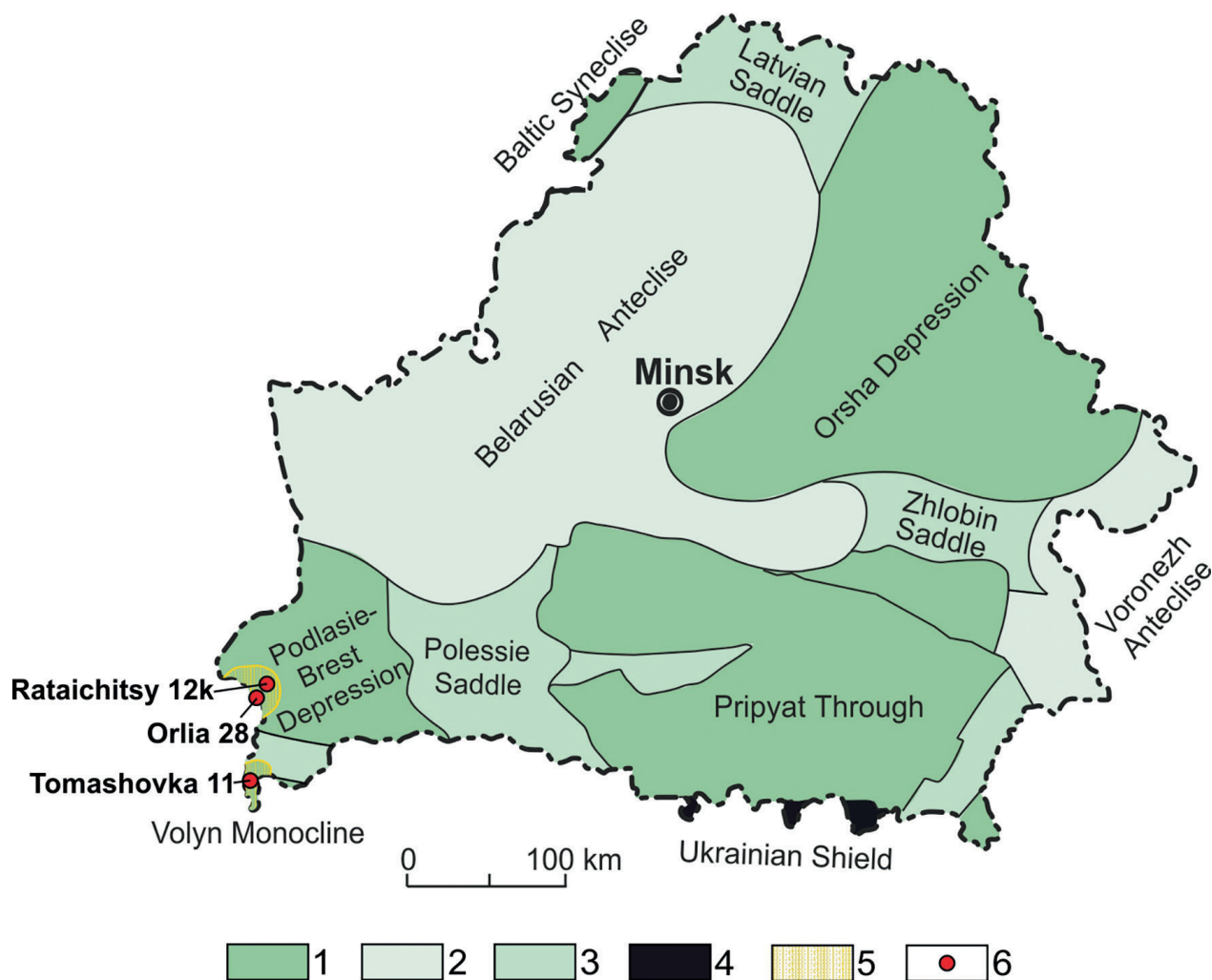
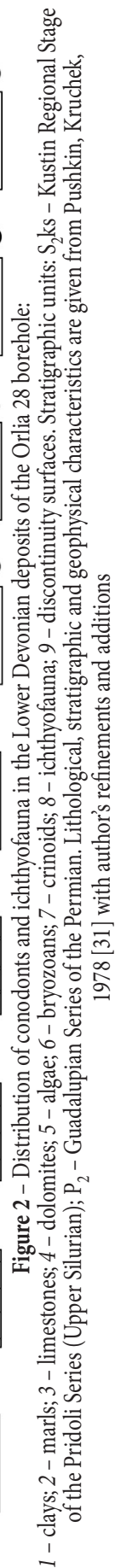


Figure 1 – Location of boreholes that exposed sediments of the Borshchovo and Chortkov Regional Stages of the Lochkovian Stage of the Lower Devonian [12]:
1 – troughs, depressions, synclises; 2 – anteclines; 3 – saddles, uplifts, horsts; 4 – crystalline shield;
5 – distribution of the Lochkovian deposits; 6 – borehole



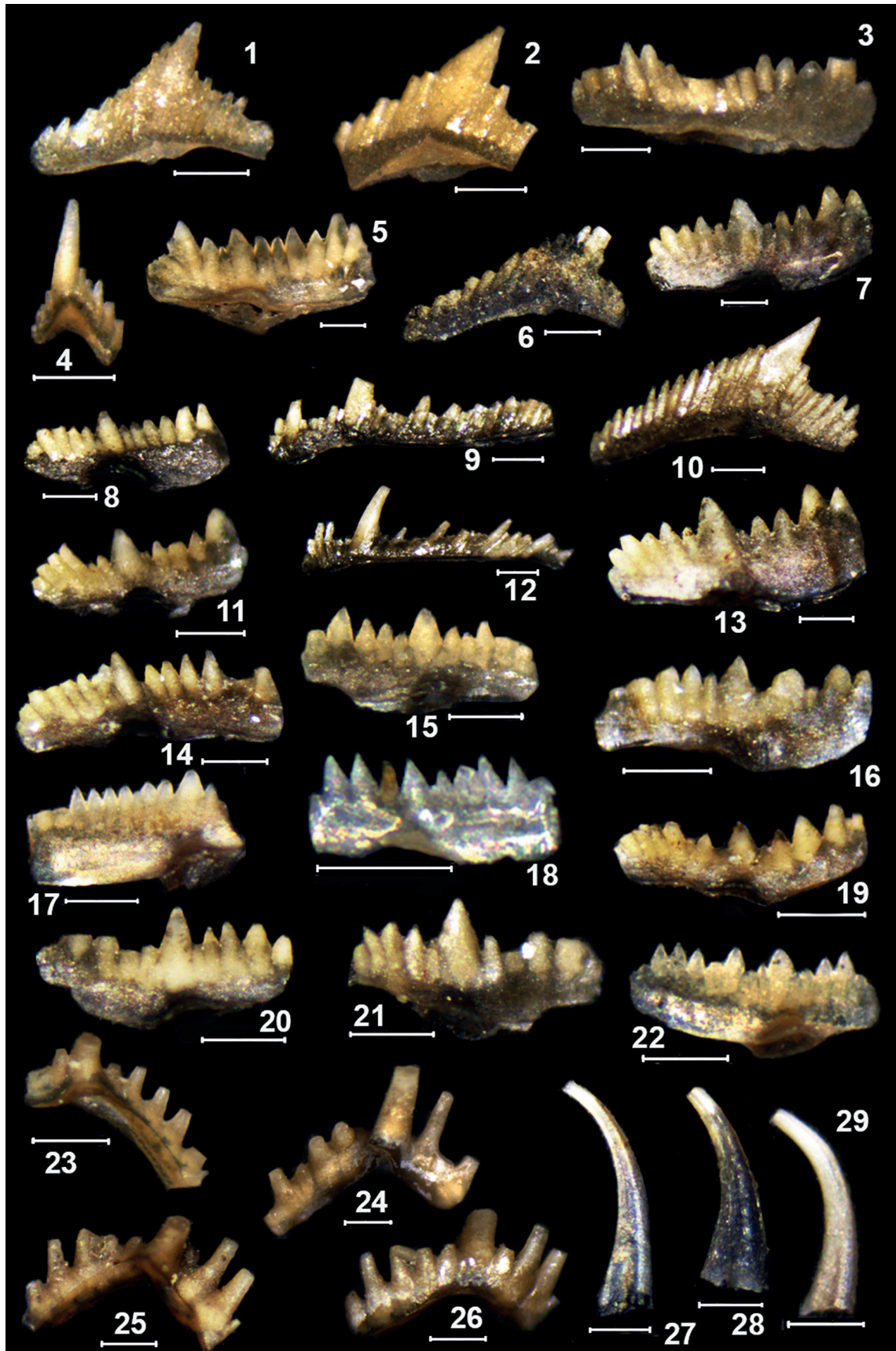


Plate 1 – Conodonts from the sediments of the Borshchovo Regional Stage (Lochkovian Stage) of the Orlia 28 borehole. The length of the scale bar is 0.2 mm

EXPLANATION OF PLATE I

Figures 1–14 – *Zieglerodina remscheidensis* (Ziegler, 1960): figures 1–5 – specimens № 19/4–1, 19/4–2, 19/4–3, 19/4–4 and 19/4–5, depth of 424.9 m; figures 6–14 – specimens № 19/6–1, 19/6–2, 19/6–3, 19/6–4, 19/6–5, 19/6–6, 19/6–7, 19/6–8 and 19/6–9, depth of 430.0 m.

Figures 15–16 – *Zieglerodina formosa* (Drygant, 2010): specimens № 19/6–1 and 19/6–2, depth of 430.0 m.

Figures 17–18 – *Zieglerodina mashkovae* (Drygant, 1984): figure 17 – specimen № 19/7–1, depth of 432.4–433.4 m; figure 18 – specimen № 19/8–1, depth of 444.6 m.

Figures 19–21 – *Zieglerodina planilingua* (Murphy et Valenzuela-Rios, 1999): specimens № 19/6–1, 19/6–2 and 19/6–3, depth of 430.0 m.

Figure 22 – *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004): specimen № 19/7–1, depth of 432.4–433.4 m.

Figure 23 – *Wurmiella excavata* (Branson et Mehl, 1933): specimen № 19/1–1, depth of 411.2 m.

Figures 24–26 – *Wurmiella excavata maxima* (Drygant, 1984): figure 24 – specimen № 19/4–1, depth of 424.9 m; figures 25–26 – specimens № 19/6–2 and № 19/6–3, depth of 430.0 m.

Figures 27–29 – *Panderodus unicostatus* (Branson et Mehl, 1933): figure 27 – specimen № 19/5–1, depth of 426.0 m; figure 28 – specimen № 19/6–1, depth of 430.0 m; figure 29 – specimen № 19/7–1, depth of 432.4–433.4 m.

A similar conodont complex was found in the sediments of the Domachevo and Dubitsa Formations (Borshchovo Regional Stage and the lower part of the Chortkov Regional Stage, the Lower Lochkovian Substage) of the Tomashovka 11 borehole and in the Kameniuki Formation (Borshchovo Regional Stage) of the Rataichitsy 12k borehole [20; 21]; as well as in more remote sections – in the rocks of the Borshchovo Formation of Volyn-Podolia (Western Ukraine); in the lower part of the Rauchkofel Formation of the Carnic Alps; in the lower part of the Lochkovian deposits of the Barrandian area (Czech Republic); in the upper part of the Carazo Formation in Cantabria (Spain); and approximately in the lower part of the Ovinparma Regional Stage of the Timan-Pechora province [3; 7; 11; 17; 32; 35].

In addition to conodonts, the rocks of the Kameniuki Formation of the Orliya 28 borehole contain remains of ichthyofauna. They are found mainly in gray, dark gray, dense, clays, gray, greenish gray, strong, platy, dolomitic marls and light gray, pelitomorphous limestones. Taxonomically, the vertebrate remains belong to heterostracans, thelodonts, and acanthodians. Heterostracans are represented there by very rare scales of *Corvaspis* sp. Thelodonts are represented by relatively few isolated scales of *Turinia pagei* (Powrie, 1870) [30], *T. polita* Karatajūtė-Talimaa, 1978 [13], *Boreania minima* Karatajūtė-Talimaa, 1985 [14] and *Nikolivia gutta* Karatajūtė-Talimaa, 1978 [13]. The species *Nikolivia gutta* is stratigraphically important for this part of the section. Acanthodians are found in all of the rock types mentioned above and are represented by single scales of *Gomphonchus sandelensis* (Pander, 1856) [25], *Nostolepis striata* Pander, 1856 [25], and *Poracanthodes punctatus* Brotzen, 1934 [2]. They have a wide range of vertical distribution and have no stratigraphic value for this part of the section, but appear as associated taxa in the assemblage.

Based on the obtained data of the ichthyofauna, the sediments of the Kameniuki Formation in the Orliya 28 borehole corresponds to the *Nikolivia gutta* Zone [27]

and the lower part of the *Nostolepis minima* Zone [39; 40]. Based on the ichthyofauna assemblage, they can be compared also with the deposits of the Domachevo Formation, developed in the territory of the Belarusian part of the Volyn Monocline [27]; approximately the lower and middle parts of the Tilžė Formation of Lithuania [36; 37]; the Borshchovo Formation of Volyn-Podolia region of Western Ukraine [26; 40]; the lower part of the Dittonian of England (Welsh Borders) [8]; the lower part of the Frenkelriggen Formation of the Red Bay Series of Western Spitsbergen [13; 24]; the Severnaya Zemlya Formation and the lower half of the Podemnyaya Formation of the Severnaya Zemlya Archipelago [15; 33; 41]; approximately the lower part of the Ovinparma Formation of the Timan-Pechora province [40] and the Belyi Kamen' Beds of Central Taimyr [38; 40].

CONCLUSIONS

During conodont studies of the sediments of the Kameniuki Formation of the Borshchovo Regional Stage (Lower Lochkovian, Lower Devonian) in the section of the Orliya 28 borehole, eight taxa were identified: *Zieglerodina mashkovae*, *Z. formosa*, *Z. planilingua*, *Z. remscheidensis*, *Pandorinellina camelfordensis*, *Panderodus unicostatus*, *Wurmiella excavata* and *Wurmiella excavata maxima*. This complex is typical for the *Caudicriodus hesperius* Zone [7; 20].

The ichthyofauna there is represented by heterostracans *Corvaspis* sp., thelodonts *Turinia pagei*, *T. polita*, *Boreania minima*, *Nikolivia gutta* and acanthodians *Gomphonchus sandelensis*, *Nostolepis striata*, *Poracanthodes punctatus*. The identified ichthyofauna is characteristic of the *Nikolivia gutta* Zone [27] of the thelodonts and the lower part of the *Nostolepis minima* Zone [39; 40] of the acanthodians.

The results presented in this article complement the information on the taxonomic composition, palaeogeographic and stratigraphic distribution of

conodonts and vertebrates in the Lower Devonian deposits in southwestern Belarus, and allow correlations with synchronous sediments developed in the adjacent territories of Lithuania and Ukraine, as well as with more distant regions: Carnic Alps (Austria, Italy), Barrandian area (Czech Republic), Cantabria (Spain) Spitsbergen (Norway), Severnaya Zemlya, Timan-Pechora province and Central Taimyr (Russia).

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Ph. D. Robert B. Blodgett (Consultant at Blodgett & Associates LLC) for help in editing the English version of the paper.

REFERENCES

1. **Branson, E. B.** Conodont studies No. 1: Conodonts from the Harding Sandstone of Colorado; Bainbridge (Silurian) of Missouri; Jefferson City (Lower Ordovician) of Missouri / E. B. Branson, M. G. Mehl // University of Missouri Studies. – 1933. – № 8 (1). – P. 7–72.
2. **Brotzen, F.** Die Morphologie und Histologie der Proostea (Acanthodiden) Schuppen / F. Brotzen // Arkiv för Zoologi. – 1934. – Band 26A. – № 23. – S. 1–27.
3. **Corriga, M. G.** Lower Lochkovian (Lower Devonian) conodonts from Cellon section (Carnic Alps, Austria) / M. G. Corriga [et al.] // 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, D. M.** Correlation and conodonts of the Silurian – Lower Devonian deposits of Volyn-Podolia / D. M. Drygant. – Kyiv : Navukova dumka, 1984. – 192 p. (in Russian).
6. **Drygant, D. M.** Devonian Conodonts from South-West Margin of the East European Platform (Volyn'-Podolian Ukraine) / D. M. Drygant. – Kyiv : Academperiodyka, 2010. – 156 p. (in Ukrainian).
7. **Drygant, D.** Lochkovian conodonts from Podolia, Ukraine and their stratigraphic significance / D. Drygant, H. Szaniawski // Acta Palaeontologica Polonica. – 2012. – № 57 (4). – P. 833–861.
8. **Dineley, D. L.** Fossil Fishes of Great Britain / D. L. Dineley, S. J. Metcalf // Geological Conservation Review Series. – 1999. – V. 16. – 675 p.
9. **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.
10. **Fossilworks.** Gateway to the Paleobiology Database [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.fossilworks.org/cgi-bin/bridge.pl?a=taxonInfo&taxon_no=345135/ – Date of access: 12.10.2023.
11. **García-López, S.** Uppermost Pridoli to Upper Emsian stratigraphy of the Alto Carriyn Unit, Palentine Domain (Northwest Spain) / S. García-López, H. Jahnke, J. Sanz-López // Palaeozoic Conodonts from Northern Spain, Eight International Conodont Symposium Held in Europe; Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, Spain, 2002. – V. 1. – P. 229–257.
12. **Geology of Belarus** / A. S. Makhnach [et al.]. – Minsk : Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, 2001. – 815 p. (in Russian).
13. **Karatajūtė-Talimaa, V. N.** The Silurian and Devonian thelodonts from the USSR and Spitsbergen / V. N. Karatajūtė-Talimaa. – Vilnius : Mokslas, 1978. – 336 p. (in Russian).
14. **Karatajūtė-Talimaa, V. N.** Thelodonts of the Podėmnaya Formation (Lower Devonian, Gedinian) of the Severnaya Zemlya and their correlational significance / V. N. Karatajūtė-Talimaa // Scientific works of higher educational institutions of the Lithuanian SSR. Geology. – 1985. – № 6. – P. 50–60 (in Russian).
15. **Karatajūtė-Talimaa, V. N.** Thelodonts. Biostratigraphical analysis / V. N. Karatajūtė-Talimaa, T. Märss // The Silurian and Devonian stratigraphy of the Severnaya Zemlya Archipelago / R. Matukhin, V. Menner (eds). – Novosibirsk, 1999. – P. 121–127 (in Russian).
16. **Kruchek, S. A.** The Devonian system / S. A. Kruchek [et al.] // Geology of Belarus / eds. A. S. Makhnach, [et al.]; National Acad. Sci. of Belarus, Institute of Geological Sciences. – Minsk, 2001. – P. 186–236 (in Russian).
17. **Mavrinskaya, T. M.** Lithological and biostratigraphic characteristics of the Upper Silurian and Lower Devonian deposits of the southwestern part of the field named after. R. Trebsa / T. M. Mavrinskaya, E. N. Savelyeva, K. D. Shumatbaev // Georesources. – 2018. – V. 20. – № 2. – P. 81–87 (in Russian).
18. **Mindat.org.** An outreach project of the Hudson Institute of Mineralogy [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.mindat.org/taxon-4842046.html>. – Date of access: 12.2023.
19. **Moiseeva, T. I.** Preliminary data on the age of Upper Silurian rocks of the Brest basin (according to microfauna) / T. I. Moiseeva, S. A. Kruchek // Materials of the third scientific conference of young geologists of Belarus. – Minsk, 1969. – P. 3–4 (in Russian).

20. **Murashko, O. V.** Conodonts from the Lochkovian sediments of the Belarusian part of the Volyn Monocline (Tomashovka 11 borehole) / O. V. Murashko // *Litasfera*. – 2023. – № 2 (59). – P. 4–13.
21. **Murashko, O. V.** Conodonts from the Lower Devonian (Lochkovian) sediments of the southwestern part of Belarus in the section of the Rataichitsy 12 borehole / O. V. Murashko // Abstracts of the VI International Scientific and Practical Conference “Actual Problems of the Earth Sciences: research of cross-border Regions”, Brest, 26–28 October 2023. – Brest : BrSU, 2023. – P. 166–169 (in Russian).
22. **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.
23. **Obukhovskaya, T. G.** The Devonian system / Stratigraphic Chart of the Precambrian and Phanerozoic deposits of Belarus: Explanatory Note / T. G. Obukhovskaya [et al.]. – Minsk: State Enterprise “BelNIGRI”, 2010. – P. 98–114 (with Stratigraphic Charts of the Devonian deposits of Belarus in 2 sheets) (in Russian).
24. **Ørvig, T.** The vertebrate fauna of the primaeval beds of the Fraenkelryggen Formation of West Spitsbergen and its biostratigraphic significance / T. Ørvig. – Lethaia, 1969. – V. 2, № 3. – P. 219–239.
25. **Pander, C. H.** Monographie der fossilen Fische des silurischen Systems der russisch-baltischen Gouvernements / C. H. Pander. – St.-Petersburg, 1856. – 91 s.
26. **Plax, D. P.** Devonian ichthyofauna of the Volyn Monocline / D. P. Plax // *Litasfera*. – 2011. – № 2 (35). – P. 12–21.
27. **Plax, D. P.** Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the southwestern part of Belarus / D. P. Plax // *Litasfera*. – 2015. – № 2 (43). – C. 19–36.
28. **Plax, D. P.** Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the Brest region, Belarus / D. P. Plax // Palaeontology and stratigraphy: current state and ways of development: Materials of the LXVIII session of the Palaeontological Society at the Russian Academy of Sciences, dedicated to the 100th anniversary of the birth of Alexander Ivanovich Zhamoida / editorial board: A. Yu. Rozanov [et al.]. – St.-Petersburg : VSEGEI Publishing House, 2022. – P. 232–234 (in Russian).
29. **Plax, D. P.** Ichthyofauna from the Lower Devonian (Lochkovian) deposits of the Podlasie-Brest Depression (from the results of the Rataichitsy 12k borehole section investigation) / D. P. Plax // *Natural resources*. – 2022. – № 1. – C. 44–66.
30. **Powrie, J.** On the earliest known vestiges of vertebrate life; being a description of the fish remains of the Old Red Sandstone of Forfarshire // *Transactions of the Geological Society of Edinburgh*. – 1870. – № 1. – P. 284–301.
31. **Pushkin, V. I.** Position of the Silurian-Devonian boundary and the stratigraphy of the Lower Devonian of Belarus / V. I. Pushkin, S. A. Kruchek // *Doklady Akademii Nauk BSSR*. – 1978. – V. XXII. – № 11. – P. 1013–1016 (in Russian).
32. **Running** across the Silurian/Devonian Boundary along Northern Gondwana: A Conodont Perspective / A. Ferretti [et al.] // *Geosciences*. – 2022. – V. 12 (43). – P. 1–25.
33. **Silurian** and Devonian strata on the Severnaya Zemlya and Sedov Archipelagos (Russia) / P. Männik [et al.] // *Geodiversitas*. – 2002. – V. 24 (1). – P. 99–122.
34. **Sinichka, A. M.** On the age analogues of the Tiverian Stage in the Brest Depression / A. M. Sinichka, G. V. Zinovenko // *Doklady Akademii Nauk BSSR*. – 1972. – Vol. XVI, № 2. – P. 151–153 (in Russian).
35. **Slavik, L.** Lochkovian / Pragian GSSP revisited: evidence about conodont taxa and their stratigraphic distribution / L. Slavik, J. Hladil // *Newsletters on Stratigraphy*. – 2004. – № 40. – P. 137–153.
36. **Talimaa, V. N.** Significance of thelodonts (Agnatha) in correlation of the Upper Ordovician to Lower Devonian of the northern part of Eurasia / V. N. Talimaa // *Courier Forschungsinstitut Senckenberg (Final Report of IGCP 328 project)*. – 2000. – V. 223. – P. 69–80.
37. **Valiukevičius, J.** The Devonian system / J. Valiukevičius, V. K. Golubtsov // *Geological map of the USSR. Scale of 1:1 000 000 (new series). Explanatory Note. Sheet N-(34), (35)*. – Vilnius. Leningrad, 1986. – P. 53–68 (in Russian).
38. **Valiukevičius, J.** Acanthodians and their stratigraphic significance / J. Valiukevičius // *Stratigraphy and Fauna of the Lower Devonian Tareya Key Section (Taimyr)* / S. Cherkasova, V. Karatajūtė-Talimaa, R. Matukhin (eds.). – St. Petersburg : Nedra, 1994. – P. 131–197; 236–243 (in Russian).
39. **Valiukevičius, J.** Acanthodians and zonal stratigraphy of Lower and Middle Devonian in East Baltic and Byelorussia / J. Valiukevičius // *Palaeontographica*. – Stuttgart, 1998. – Abt. A. – S. 1–53.
40. **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. – V. 223. – P. 271–289.
41. **Yuryeva, Z. P.** The Lower Devonian deposits of the North-Eastern European part of the Russia (stratigraphy, correlation) / Z. P. Yuryeva. – Syktyvkar : IG Komi SC UB RAS, 2020. – 164 p.

42. Ziegler, W. Conodonten aus dem Rheinischen Unterdevon (Gedinnium) des Remscheider Sattels (Rheinisches Schiefergebirge) / W. Ziegler // Paläontologische Zeitschrift. – 1960. – № 34. – P. 169–201.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 12.10.2023

Рэцэнзент Г. І. Літвінюк

КАНАДОНТЫ І ІХТЫЯФАЎНА З ЛОХКАЎСКИХ АДКЛАДАЎ РАЗРЭЗУ СВІДРАВІНЫ ОРЛЯ 28 (ПАДЛЯСКА-БРЭСЦКАЯ ЎПАДЗІНА, БЕЛАРУСЬ)

В. В. Мурашка¹, Дз. П. Плакс²

¹Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
Філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь
E-mail: volum@tut.by

²Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт
пр. Незалежнасці, 65, 220013, Мінск, Беларусь
E-mail: agnatha@mail.ru

У артыкуле прыведзены дадзеныя аб канадонтах і іхтыяфаўне з адкладаў лохкаўскага яруса ніжняга дэвона, выяўленых свідравінай Орля 28, прасвідраванай на тэрыторыі Беларусі ў межах Падляска-Брэсцкай упадзіны. Было выяўлена восем таксонаў канадонтаў і столькі ж таксонаў бесксківічных і рыб. Найбольшае значэнне для мэт стратыграфіі ў вызначаным комплексе канадонтаў маюць *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004) і *Wurmiella excavata maxima* (Drygant, 2010), якія з'яўляюцца кіруючымі таксонамі баршчоўскага гарызонту і ўваходзяць у лік відаў-індэксаў зоны *Caudicriodus hesperius*. Важнымі ў стратыграфічных адносінах відамі хрыбетных ва ўстаноўленым іхтыяокомплексе з'яўляюцца *Turinina ragei* (Powrie, 1870) і *Nikolivia gutta Karatajūtė-Talima, 1978*. Першы від з'яўляецца занадальным для адкладаў баршчоўскага і чорткоўскага гарызонтаў, а другі від характэрны для баршчоўскага гарызонту.

Ключавыя словы: Беларусь, Падляска-Брэсцкая ўпадзіна, канадонты, іхтыяфаўна, лохкаўскія адклады, ніжні дэвон.

КОНОДОНТЫ И ИХТИОФАУНА ИЗ ЛОХКОВСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗРЕЗА СКВАЖИНЫ ОРЛЯ 28 (ПОДЛЯССКО-БРЕСТСКАЯ ВПАДИНА, БЕЛАРУСЬ)

О. В. Мурашко¹, Д. П. Плакс²

¹Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
Филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: volum@tut.by

²Белорусский национальный технический университет
пр. Независимости, 65, 220013, Минск, Беларусь
E-mail: agnatha@mail.ru

В статье приведены данные о конодонтах и ихтиофауне из отложений лохковского яруса нижнего девона, вскрытых скважиной Орля 28, пробуренной на территории Беларуси в пределах Подляско-Брестской впадины. Было выявлено восемь таксонов конодентов и столько же таксонов бесчелюстных и рыб. Наибольшее значение для целей стратиграфии в выявленном комплексе конодентов имеют *Pandorinellina camelfordensis* (Farrell, 2004) и *Wurmiella excavata maxima* (Drygant, 2010), являющиеся руководящими таксонами борщовского горизонта и входящие в число видов-индексов зоны *Caudicriodus hesperius*. Важными в стратиграфическом отношении видами позвоночных в установленном ихтиокомплексе являются *Turinina ragei* (Powrie, 1870) и *Nikolivia gutta Karatajūtė-Talima, 1978*. Первый вид является зональным для отложений борщовского и чортковского горизонтов, а второй вид – характерен для борщовского горизонта.

Ключевые слова: Беларусь, Подляско-Брестская впадина, конодонты, ихтиофауна, лохковские отложения, нижний девон.

УДК 551.793+551.89

ПАЛИНОСТРАТИГРАФИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ
НИЖНИНСКОГО И МОГИЛЕВСКОГО ПОДГОРИЗОНТОВ
БЕЛОВЕЖСКОГО ГОРИЗОНТА ПЛЕЙСТОЦЕНА БЕЛАРУСИ

А. В. Шидловская

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»

ул. Ф. Скорины, 220076, 10, Минск, Беларусь

E-mail: anne.shidlovska@gmail.com

Обобщены результаты многолетних палинологических исследований отложений нижнинского и могилевского подгоризонтов беловежского горизонта, а также перекрывающих их нижеберезинских отложений плейстоцена Беларуси. Детально охарактеризованы пыльцевые зоны, выделенные в данных слоях. Ряду зон предложено присвоить статус региональных. Описаны две новые пыльцевые зоны в отложениях нижнинского подгоризонта. Выполнена реконструкция растительности и климата соответствующих интервалов времени, для некоторых фаз численные палеотемпературные параметры с помощью метода совмещения климатических ареалов получены впервые. Рассмотрены вопросы о стратиграфическом ранге изученных подразделений.

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

ВВЕДЕНИЕ

Согласно стратиграфической схеме четвертичных отложений Беларуси [38], в составе среднего плейстоцена выделен беловежский горизонт, который располагается между наревским и березин-

ским ледниковыми горизонтами и подразделяется на три подгоризонта: борковский, нижнинский и могилевский. Схема палиностратиграфического расчленения указанных отложений представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема палиностратиграфического расчленения отложений беловежского горизонта плейстоцена Беларуси, а также подстилающих его верхненаревских и перекрывающих нижеберезинских отложений [39]

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

Детальная палинологическая характеристика отложений борковского подгоризонта и подстилающих их верхненаревских отложений, а также характеристика условий их формирования были опубликованы ранее [41].

В представленной работе приведены результаты обобщения выполненных ранее и новых палинологических исследований отложений нижнинского и могилевского подгоризонтов, перекрывающих их аккумуляций березинского ледникового горизонта, а также реконструкции растительности и климата времени накопления этих образований. В статье рассмотрены вопросы соответствия подразделений беловежского горизонта определенным стратиграфическим единицам. Интерес к этой проблеме связан с тем, что полученные новые данные позволяют предположить, что выделенные подгоризонты имеют более крупный ранг – горизонты. Такой вариант стратиграфического расчленения этой части среднего плейстоцена был предложен Л. Н. Вознячуком еще в 1981 г. [4], а в 1996-м был представлен коллективом авторов в новой разработанной стратиграфической схеме, где между наревским и березинским горизонтами выделяются еще три – беловежский, нижнинский и могилевский [38].

В соответствии с ныне принятой стратиграфической схемой [39], отложения нижнинского подгоризонта коррелируются с образованиями подруднянского (среднего) подгоризонта мучапского горизонта плейстоцена России [42; 43 и др.], гляциалом фердинандув 2 плейстоцена Польши [47; 50 и др.], гляциалом В кромерского комплекса Западной Европы [53 и др.]. Могилевский подгоризонт отвечает конаховскому (верхнему) подгоризонту мучапского горизонта плейстоцена на территории России [42; 43 и др.], интергляциалу фердинандув 3 плейстоцена Польши [47; 50 и др.], интергляциалу III (или IV) кромерского комплекса Западной Европы [53 и др.]. Березинский горизонт соответствует окскому горизонту в схеме плейстоцена России [42; 43 и др.], оледенению сан-2 плейстоцена Польши [47; 50 и др.], комплексу эльстер плейстоцена Западной Европы [53 и др.].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе использованы результаты палинологических исследований разрезов, вскрывших отложения нижнинского и могилевского подгоризонтов беловежского и нижней части березинского горизонтов плейстоцена Беларуси (рис. 1).



Рисунок 1 – Карта-схема расположения разрезов, вскрывших отложения нижнинского и могилевского подгоризонтов беловежского и нижней части березинского горизонтов плейстоцена Беларуси, изученных палинологическим методом

Спорово-пыльцевые диаграммы отложений могилевского и нижнинского подгоризонтов построены по единой методике и обработаны с помощью специализированного программного обеспечения PolPal [52].

Вычисление процентного содержания пыльцы каждого таксона древесных, кустарниковых и травянистых наземных растений производилось от суммы AP + NAP (без водных), а таксонов водных растений и спор – от суммы AP + NAP + подсчитываемый таксон (AP – arborum pollen; NAP – non-arborum pollen). Выделенные в разрезах локальные пыльцевые зоны сопоставлены с пыльцевыми зонами (PAZ – pollen assemblage zone) могилевского [35; 39] и нижнинского [39] подгоризонтов, которые на данный момент не имеют статуса региональных (табл. 2).

С помощью атласов-определителей [17–19; 36; 37; 48; 49; 51 и др.] выполнены видовые определения пыльцы некоторых основных таксонов древесных пород из отложений могилевского подгоризонта. При этом обнаружены виды, которые ранее не были установлены в образованиях данного возраста на территории Беларуси (*Carpinus orientalis* Mill., *Corylus colurna* L.). Полученные данные дали возможность более детально реконструировать динамику климата на протяжении рассмотренного интервала времени. Для палеоклиматических реконструкций использован метод совмещения климатических ареалов [2; 10; 15; 30].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже приведены результаты детального анализа палинологических материалов, касающихся отложений нижнинского и могилевского подгоризонтов беловежского горизонта, а также нижнеберезинских аккумуляций плейстоцена, выполнена реконструкция растительности и климата соответствующих интервалов времени на территории Беларуси. Учеными даны по 16 разрезам, вскрывшим названные отложения и расположенным в разных частях страны. Уточнен таксономический состав пыльцевых спектров, что, в свою очередь, позволило получить более достоверные палеотемпературные параметры, чем реконструированные ранее для некоторых фаз могилевского теплого интервала [34–35]. Палеотемпературы для нижнинского холодного интервала методом совмещения климатических ареалов реконструированы впервые.

Беловежский горизонт

Нижнинский подгоризонт

Стратотипом нижнинского подгоризонта является толща зеленовато-серой супеси и суглин-

ка с прослоями торфа и гиттии, вскрытая в овраге Нижнинский Ров близ г. Шклова Могилевской области [11; 16; 26 и др.]. В других разрезах данные отложения могут быть представлены глинами, супесями, суглинками, реже – песками.

На рисунке 2 приведена спорово-пыльцевая диаграмма разреза Нижнинский Ров, построенная по материалам Т. Б. Рыловой [34] с учетом выполненных нами дополнительно определений видового состава пыльцы важнейших таксонов из нижнинских и могилевских отложений, представленных в данном разрезе.

nz 1 NAP – *Betula* – *Larix*

Эта зона известна почти в десятке местонахождений, но наиболее полно она отражена на спорово-пыльцевых диаграммах разрезов Нижнинский Ров [11; 16; 26; 34 и др.], скв. 21 у д. Углы [23] и скв. 1474 у д. Голицы [1].

Рассматриваемая зона отличается возрастом, по сравнению с предшествующей зоной brk 8 *Pinus* – *Betula* – *Larix* борковского подгоризонта беловежского горизонта [32; 34; 41], количества пыльцы травянистых растений в составе спектров в среднем до 20–30 %, иногда до 40,9 % (разрез Нижнинский Ров). Преобладает пыльца *Artemisia* (до 21 % в том же разрезе), присутствуют Poaceae, Cyperaceae, Chenopodiaceae, Apiaceae, а также пыльцевые зерна кустарничков Ericaceae и *Ephedra distachya* L. Пыльца водных и водно-болотных растений представлена *Typha latifolia* L., *T. angustifolia* L., *Myriophyllum*, Alismataceae. В составе спор, помимо Bryales, *Sphagnum*, Polypodiaceae, *Lycopodium clavatum* L., важно отметить присутствие таких холодоустойчивых видов, как *Selaginella selaginoides* (L.) P. Beauv. ex Schrank et Mart. и *Botrychium lunaria* (L.) Sw.

Среди пыльцы древесных пород важнейшую роль играет пыльца *Betula*, встречаются как *Betula* sect. *Albae* (до 56,3 % в разрезе Смолярка, до 38,7 % в разрезе Голицы), так и *Betula nana* L. и *B. humilis* Schrank (до 15,7 % в разрезе Нижнинский Ров, до 9,4 % в разрезе Голицы). В количестве до 5 % почти во всех разрезах присутствует пыльца *Salix* sp. Отмечены единичные пыльцевые зерна *Frangula alnus* Mill. и *Sambucus nigra* L.

Пыльца хвойных пород представлена преимущественно *Pinus sylvestris* L. – до 69,2 % в разрезе Голицы, до 65,9 % в разрезе Углы, а также *Picea abies* (L.) Karst., *P. sect. Omorica*, *Picea* sp.) – до 17,9 % в разрезе Углы, до 9,9 % в разрезе Голицы. Присутствуют пыльцевые зерна *Larix* sp. (в среднем 2–5 %, в разрезе Нижнинский Ров – до 11 %), а также единично *Juniperus communis* L.

Таблица 2 – Разрезы, вскрывшие отложения нижнинского и могилевского подгоризонтов беловежского и нижней части березинского горизонтов плейстоцена Беларуси, изученные палинологическим методом

Местонахождения отложений беловежского (нижнинский и могилевский подгоризонты) и березинского (нижняя часть) горизонтов плейстоцена Беларуси, изученные палинологическим методом		Пыльцевые зоны (PAZ) нижнинского подгоризонта беловежского горизонта					Пыльцевые зоны (PAZ) могилевского подгоризонта беловежского горизонта					Пыльцевая зона (PAZ) нижней части березинского горизонта	
Область	Район	Разрез					Локальные пыльцевые зоны (L PAZ)					bz 1	
Брестская	Березовский	Голыцы скв. 1474 (Величквич и др., 1993) [1]	GI-3	GI-4	GI-5		mg 1	mg 2	mg 3	mg 4	mg 5		
		Голыцы скв. 5 (материалы Т. Б. Рыловой, неопубл.)	GI-5-5										
		Смолярка, скв. 3 (Величквич и др., 1997) [14]											
		Углыны, скв. 1350 (Величквич и др., 1993) [1]											
	Ивацевичский	Алексейки, скв. 1807 (Рылова, 2023) [33]											
Витебская	Пружанский	Ляхи, скв. 302 (Вознячук, Пузанов, 1967) [3]											
	Верхнедвинский	Обухово, расч. 1 (Санько и др., 2004) [28]			Ob-6								
	Дубровенский	Большое Бахово, скв. 84 (Рылова, 2014) [31]			BB-5	BB-6							
Гомельская	Речицкий	Красная Дуброва, скв. 13 Б (Махнач и др., 1982) [27]	KD-7				KD-8	KD-9	KD-10				
		Красная Дуброва, скв. 55 Б (Махнач, Рылова, 1986) [24]			KD-3-5	KD-6	KD-7	KD-8	KD-9	KD-10		KD-11-14	
Минская	Любанский	Костешч, расч. 1, 2 (Еловничева, 1979) [12]											
	Солігорскі	Пиваши, скв. 3309 (Махнач, 1971) [25]											
		Старобин, скв. 2 (Махнач, 1961, 1966) [21, 22]											
	Белыніцкі	Голубовка, скв. 2МГ (материалы Т. Б. Рыловой, неопубл.)	GIb-8	GIb-9	GIb-10								
	Бобруйскі	Углы, скв. 21 (Махнач, 1966) [23]											
Могилевская	Шкловский	Еловничева, 1979 [12]; Горещий и др., 1987 (расч. 12-14) [26]; Кондратене, Санько, 1985 (расч. 4) [16] и др.											
		Нижинский Ров, обн.											

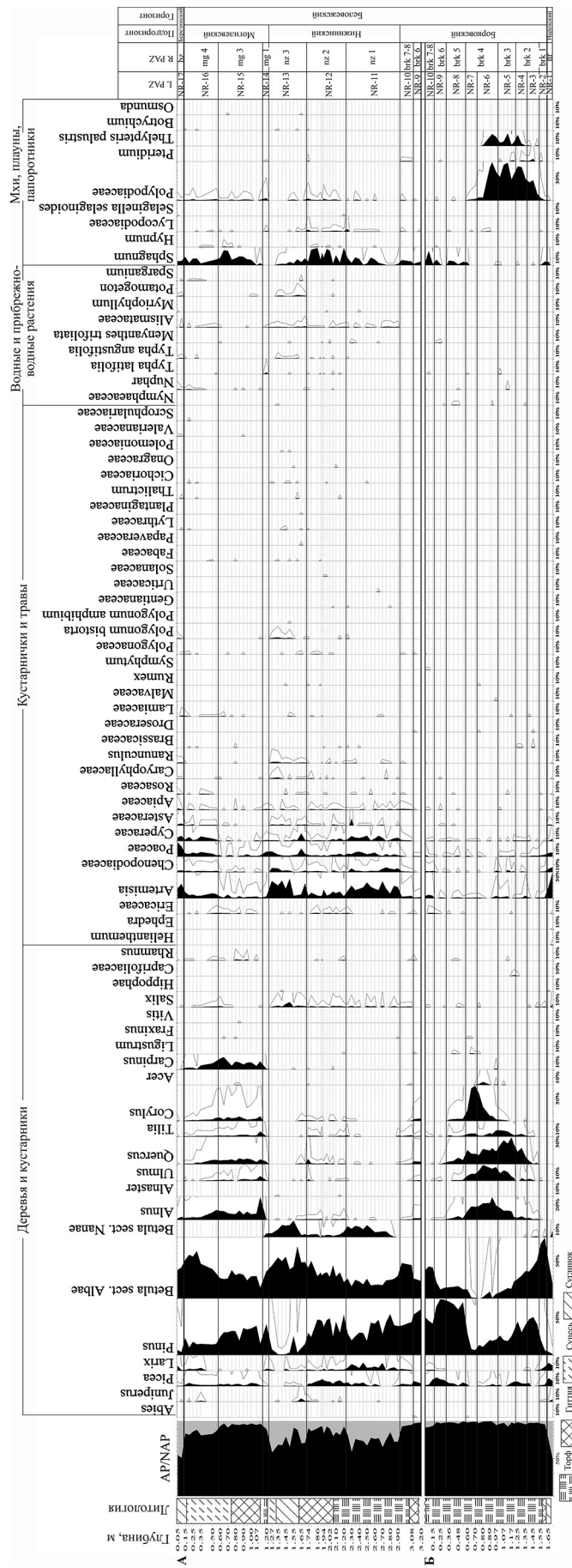


Рисунок 2 – Спорово-пыльцевая диаграмма беловежских отложений, вскрытых в овраге Нижнинский Ров близ г. Шклова Могилевской области (анализ выполнен Т. Б. Рыловой)

Во время данной фазы обширные территории занимали открытые пространства типа тундры. В травостое доминировали полыни, маревые, злаковые, осоковые, зонтичные. На заболоченных местах селились сфагновые и зеленые мхи, плаунок плауновидный. Вместе с ними произрастали кустарнички семейства вересковые, березы карликовая и приземистая, предпочитающие кислые и влажные почвы. В самых сухих местах росли ксерофитные хвойники. В водоемах и на их берегах селились рогоз широколистный и узколистный, вахта трехлистная, уруть, частуховые.

По берегам рек произрастали группировки из березы, сосны и ели со значительным участием лиственницы. Береза в данных биотопах была представлена древесными видами, такими как береза пушистая и бородавчатая. Среди хвойных доминировала сосна обыкновенная, заметное участие принимали ель европейская, сербская, а также лиственница. Произрастали ива, можжевельник обыкновенный, крушина ломкая, бузина черная.

В нижнем ярусе селились папоротники, в том числе гроздовник полулунный.

Для данной фазы получен диапазон палеотемператур, представленный на рисунке 3. Так, температуры самого теплого месяца находились в интервале $+11,5...+16,5^{\circ}\text{C}$ (средняя $+14^{\circ}\text{C}$), а самого холодного – в интервале $-2,5...-16,5^{\circ}\text{C}$ (средняя $-9,5^{\circ}\text{C}$).

Необходимо отметить, что основой метода совмещения климатических ареалов, используемого в данной работе, является состав дендрофлоры, причем учитывается лишь качественный состав, но не количественное участие отдельных компонентов. Эти особенности метода затрудняют его применение для холодных интервалов времени, поскольку, например, на протяжении всех фаз нижинского интервала важную роль играла травянистая растительность, сходным оставался и видовой состав древесных пород, изменялось лишь соотношение древесных и травянистых растений и доля участия холодолюбивых видов.

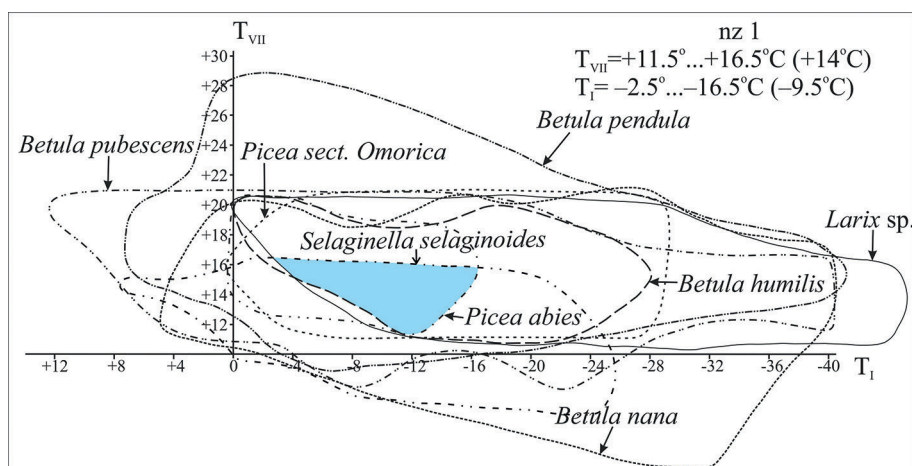


Рисунок 3 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы nz 1 NAP – *Betula* – *Larix* нижинского интервала беловежского времени

nz 2 *Pinus* – *Picea* – *Betula*

Рассматриваемая зона лучше всего представлена в разрезах Нижинский Ров [11; 16; 26; 34 и др.], скв. 21 у д. Углы [23], скв. 1474 у д. Голицы [1] и скв. 3 у д. Смолярка [14].

Зона nz 2 отличается сокращением количества пыльцы травянистых растений в общем составе спектров (до 5,5 % в разрезе Голубовка, до 6,4 % в разрезе Смолярка). Присутствуют пыльцевые зерна *Ericaceae*, *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Roaceae*, *Apiaceae*, *Cyperaceae* и др. Отмечена пыльца водных и водноболотных растений – *Alismataceae*, *Menyanthes trifoliata* L., *Myriophyllum*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, а также споры – *Bryales*, *Sphagnum*, *Hypnum*, *Lycopodium clavatum*, *L. inundatum* L., *Polypodiaceae*.

Пыльца древесных пород представлена преимущественно *Pinus sylvestris* (95,4 % в разрезе Голицы,

81,4 % – Углы). Количество пыльцы *Picea* (*Picea abies*, *P. sect. Omorica*, *Picea* sp.) до 8,6 % в разрезе Голубовка, до 6,5 % в разрезе Нижинский Ров. Отмечены единичные пыльцевые зерна *Larix* sp., *Juniperus communis*. Содержание пыльцы *Betula* sect. *Albae* составляет 55,7 % в разрезе Нижинский Ров, 50,3 % в разрезе Голубовка. Количество *Betula nana* и *B. humilis* снижается (4,1 % в разрезе Голицы, 3,8 % – Нижинский Ров). Во многих разрезах присутствуют единичные пыльцевые зерна *Salix* sp., а также *Alnaster fruticosus* (Rupr.) Ledeb., *Frangula alnus*.

Данная фаза характеризуется снижением роли открытых пространств и увеличением площадей, занятых лесной растительностью, что может свидетельствовать о некотором потеплении климата. Существовали смешанные хвойно-мелколиственные (березово-сосновые и сосново-березовые) леса

с участием ели и лиственницы. Подлесок формировали можжевельник обыкновенный, крушина ломкая, ива и др. Произрастали ольховник кустарниковый, реже кустарниковые виды берез, участие которых заметно сократилось по сравнению с предыдущей фазой. Травянистая растительность была представлена вересковыми, полынными, маревыми, злаковыми, осоковыми, зонтичными и др. Водоемы и их берега населяли частуховые, рогозовые (рогоз широколистный и узколистный), уруть, вахта

трехлистная. Напочвенный покров слагали зеленые, гипновые и сфагновые мхи, плауны (плаун булавовидный, плаун заливаемый), произрастали папоротники.

Палеотемпературные параметры, полученные для данной фазы, представлены на рисунке 4. Однако, учитывая интерстадиальный характер растительности рассматриваемой фазы, можно предположить, что температуры были близки к более теплой части полученного диапазона.

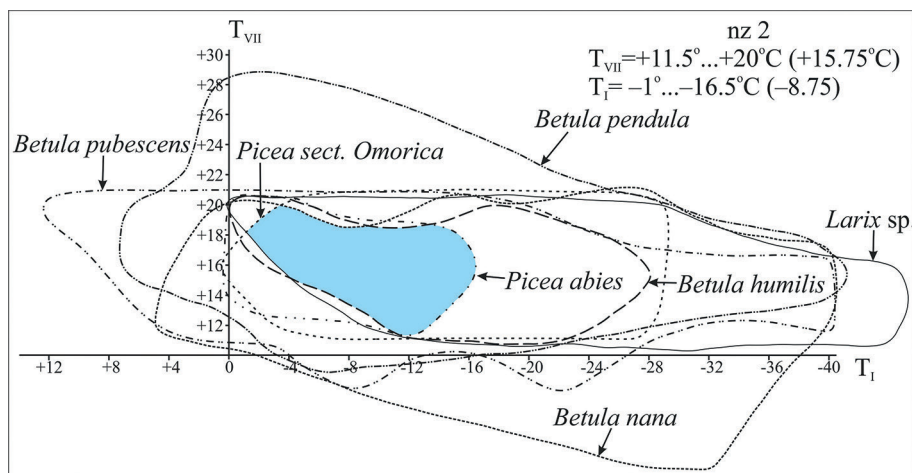


Рисунок 4 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы nz 2 *Pinus* – *Picea* – *Betula* нижинского интервала беловежского времени

nz 3 NAP – *Betula nana*

Наиболее полно данная зона охарактеризована в разрезах Нижинский Ров [11; 16; 26; 34], скв. 55Б у д. Красная Дуброва [24] и скв. 3 у д. Смолярка [14].

Для рассматриваемой зоны характерно доминирование пыльцы травянистых растений в общем составе спектров (59,3 % в разрезе Голубовка, 57,4 % – Большое Бахово, в разрезе скв. 55Б у д. Красная Дуброва – почти 90 %). Эти значения максимальны для всего нижинского подгоризонта. Преобладает пыльца *Artemisia* (до 46,8 % в разрезе Голубовка), в значительном числе отмечены пыльцевые зерна *Roaseae* (до 16,8 % в разрезе Углы), *Cyperaceae* (до 13,2 % в разрезах Смолярка и Голицы), *Chenopodiaceae* (до 6,8 % в разрезе Голубовка), *Ranunculus* (до 7,4 % в разрезе Голицы). Присутствуют *Caryophyllaceae*, *Helianthemum*, *Polygonaceae* (*Polygonum bistorta* L.), *Thalictrum*, *Valerianaceae*, *Ericaceae*, *Apiaceae*, *Rosaceae* и др. Водные и водноболотные растения представлены пыльцой *Alismataceae*, *Potamogeton*, *Myriophyllum*, *Sparganium*, *Typha angustifolia*, *T. latifolia*. Среди спор отмечены *Bryales*, *Sphagnum*, *Lycopodium clavatum*, *L. inundatum*, *Polypodiaceae*, а также такие холодостойкие виды, как *Botrychium lunaria* и *Selaginella selaginoides*.

Что касается древесных пород, то они представлены преимущественно пыльцой *Betula*, причем

Betula sect. Albae – до 67,2 % (разрез Голубовка), а *Betula nana* и *B. humilis* – до 30 % (разрез Красная Дуброва). Количество пыльцы *Pinus* (*Pinus sylvestris*, изредка *P. cembra*) не превышает 46,7 % в разрезе Смолярка, 39,3 % – в разрезе Углы. Содержание пыльцы других хвойных пород невелико: *Picea* (*Picea abies*, *P. sect. Omorica*, *P. obovata*) – 5,7 % в разрезе Углы, 4,4 % в разрезе Голубовка, *Larix sp.* – до 5,5 % в разрезе Голубовка, единично отмечаются *Juniperus communis*, *Ephedra distachya*. Пыльцевые зерна кустарников представлены *Salix sp.*, *Frangula alnus*, *Sambucus nigra*, *Alnaster fruticosus*, *Hippophaë rhamnoides* L.

Рассматриваемая фаза характеризуется наибольшим распространением открытых пространств типа тундры в рамках нижинского интервала беловежского времени, а значит, и самыми суровыми климатическими условиями. Помимо полыней, злаковых, осоковых, гречишных, маревых, зонтичных и др., произрастали такие травянистые растения, как лютиковые (василистник), гвоздичные, валериановые, ладанниковые (солнцецвет), холодолюбивые представители которых могут существовать в экстремальных климатических условиях. При этом заметная роль последних в составе растительности характерна именно для данной фазы нижинского интервала. Пониженные и увлажненные места зани-

мали зеленые и сфагновые мхи, плаунок плауновидный. Значительное участие принимали кустарниковые виды берез – карликовая и приземистая. В самых сухих местах произрастали хвойники. В водоемах и их окрестностях произрастали частуховые, рдест, рогоз широколистный и узколистный, уруть, ежеголовник.

Вдоль речных долин селились немногочисленные группировки древесных пород, состоящие преимущественно из березы пушистой и бородавчатой, присутствовали сосна обыкновенная, изредка сосна кедровая, ели европейская, сербская и сибирская, а также лиственница. Вместе с ними произрастали кустарники, такие как можжевельник обыкновенный, крушина ломкая, облепиха крушиновидная, бузина черная, ольховник кустарниковый, ива, а в напочвенном покрове – папоротники и плауны.

Палеотемпературные параметры данной фазы представлены на рисунке 5. На довольно суровый климат в это время указывает максимальное рас-

пространение открытых пространств и значительная роль холодолюбивых видов в составе растительных сообществ.

Описанные выше пыльцевые зоны нижинского подгоризонта последовательно прослежены в не менее чем шести местонахождениях в разных частях территории Беларуси (см. табл. 2), что позволяет придать им статус региональных.

Данные спорово-пыльцевого анализа ряда разрезов (Красная Дуброва, Ляхи, Смолярка, Углы), по нашему мнению, позволяют выделить в отложениях нижинского подгоризонта беловежского горизонта еще две пыльцевые зоны, описание которых приведено ниже.

nz 4 *Pinus* – *Betula*

Данная зона охарактеризована по данным четырех разрезов: скв. 3 у д. Смолярка [14], скв. 55Б у д. Красная Дуброва [24], скв. 21 у д. Углы [23], скв. 302 у д. Ляхи [3].

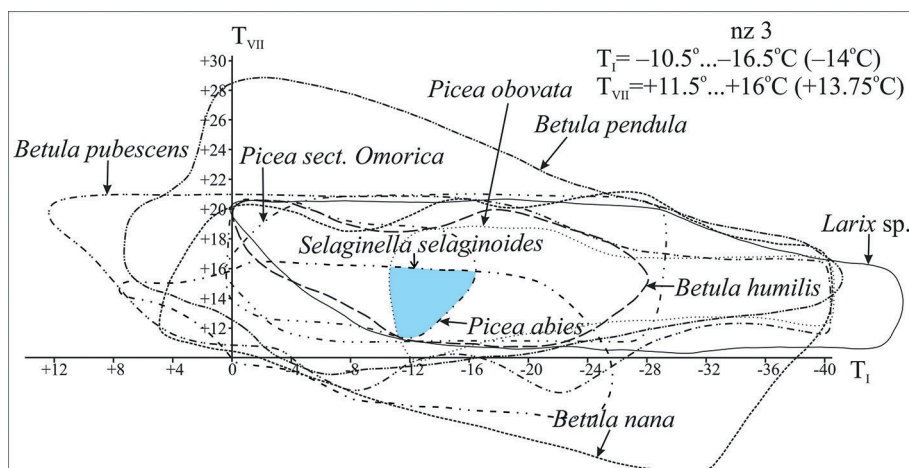


Рисунок 5 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы nz 3 NAP – *Betula nana* нижинского интервала беловежского времени

Для этой зоны свойственно новое сокращение количества пыльцы травянистых растений: 8,2 % в разрезе Смолярка, 7,8 % – Углы, 2,1 % – Ляхи. Лишь в юго-восточном разрезе Красная Дуброва оно достигает почти 20 %. Отмечена пыльца *Artemisia*, *Poaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Caryophyllaceae*, *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Ranunculaceae*, *Ariaceae* и др. Присутствуют споры *Bryales*, *Sphagnum*, *Lycopodium clavatum*, *Polypodiaceae*.

Древесные породы представлены преимущественно пылью *Pinus sylvestris* (79,1 % в разрезе Ляхи, 70,6 % – Углы). В небольшом количестве присутствует пыльца *Larix* sp. – до 4,5 % в разрезе Смолярка и *Picea* (*Picea abies*, *P. sect. Omorica*, *Picea* sp.) – до 4,3 % в разрезе Углы. Содержание пыльцы *Betula* *sect. Albae* составляет 43,3 % в разрезах Ляхи и Смолярка на юго-западе Беларуси и около 30 % в раз-

резах Углы и Красная Дуброва на юго-востоке. Количество *Betula nana* и *B. humilis* – 6–8 % (разрезы Смолярка и Красная Дуброва). Отмечены пыльцевые зерна *Salix* sp., *Frangula alnus*, *Juniperus communis*.

В соответствующую фазу территорию вновь заселили смешанные мелколиственно-хвойные и хвойно-мелколиственные леса, где главными лесобразующими породами являлись сосна обыкновенная и древесные виды берез, присутствовали ель, изредка лиственница. В подлеске произрастали ива, можжевельник обыкновенный, крушина ломкая, в нижнем ярусе – папоротники, плауны. На открытых пространствах селились полыни, злаковые, осоковые, гвоздичные, астровые, розоцветные и др. Заболоченные участки занимали сфагновые и зеленые мхи, березы карликовая и приземистая.

Диапазон температур соответствует значениям, полученным для фазы nz 2 (рис. 4), однако, как и в фазе nz 2, температуры, скорее всего, тяготеют к более теплой его части.

nz 5 NAP – Betula

Зона nz 5 выделена в тех же разрезах, что и предыдущая: скв. 3 у д. Смолярка [14], скв. 55Б у д. Красная Дуброва [27], скв. 21 у д. Углы [23], скв. 302 у д. Ляхи [3].

Для данной зоны характерно увеличение количества пыльцы травянистых растений: около 40 % в разрезе Красная Дуброва, до 35,2 % – Углы, до 17,4 % – Смолярка и Ляхи. Присутствуют пыльцевые зерна *Ericaceae*, *Artemisia*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Valerianaceae*, *Ranunculaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Apiaceae*, *Polygonaceae*, *Asteraceae*, *Rosaceae*, *Brassicaceae* и др. Из пыльцы водных растений отмечены *Alismataceae*, *Typhaceae*, *Ceratophyllum*. Присутствуют споры *Bryales*, *Sphagnum*, *Polypodiaceae*.

Пыльца древесных растений представлена в основном *Betula sect. Albae* (до 80,8 % в разрезе Смолярка, до 65,7 % – Ляхи), присутствуют также *Betula nana* и *B. humilis* (около 15 % в разрезе Красная Дуброва). В небольшом количестве содержится *Salix* sp. Количество *Pinus sylvestris* достигает 42,9 % в разрезе Ляхи, 41,3 % – Углы. Отмечена пыльца *Picea* (*Picea abies*, *P. sect. Omorica*, *Picea* sp.) – до 6,4 % в разрезе Углы, единично присутствует *Larix* sp.

Заключительная фаза нижинского интервала характеризуется менее значительной ролью травянистой растительности, чем в предыдущие стадийные фазы, и меньшим участием тундровых видов, что может отражать тенденцию климата к потеплению и постепенной смене природной обстановки. Среди трав и кустарничков доминировала полынь, произрастали злаковые, лютиковые, гвоздичные, валериановые, осоковые, зонтичные, вересковые, гречишные и др. Из водно-болотных растений присутствовали рогозовые, частуховые, рогилистник. Заболоченные участки покрывали зеленые и сфагновые мхи, произрастали береза приземистая, реже береза карликовая.

Лесные формации состояли преимущественно из древесных видов берез (береза пушистая и бородавчатая) и сосны обыкновенной, изредка произрастали ель европейская, ель сибирская, лиственница, ива.

Диапазон палеотемператур для данной фазы соответствует таковому для предыдущей, при этом, вероятно, температуры тяготеют к более холодной его части.

С учетом приведенных данных возможная схема палинастратиграфического расчленения отложений нижинского подгоризонта представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Палинастратиграфическое расчленение отложений нижинского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси (с учетом новых данных)

Система	Отдел	Подотдел	Горизонт	Подгоризонт	Пыльцевые зоны (PAZ/R PAZ)	
Четвертичная	Плейстоцен	Средний	Беловежский	Нижинский	nz 5	NAP – <i>Betula</i>
					nz 4	<i>Pinus</i> – <i>Betula</i>
					nz 3	NAP – <i>Betula nana</i>
					nz 2	<i>Pinus</i> – <i>Picea</i> – <i>Betula</i>
					nz 1	NAP – <i>Larix</i> – <i>Betula</i>

Верхняя граница зоны nz 5 NAP – *Betula* является верхней границей нижинского подгоризонта и совпадает с нижней границей могилевского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси. Данная граница проведена на основании смены характера отложений (возрастает доля органического вещества, торфы, супеси и суглинки сменяются озерными супесями, гиттиями и сапропелитом), а также количественного и качественного состава спектров, что выражается, в первую очередь, в заметном сокращении роли пыльцы тра-

вянистых растений, а также холодолюбивых видов деревьев, кустарников и трав, и увеличением содержания пыльцы древесных пород.

Могилевский подгоризонт

Стратотипом могилевского подгоризонта является толща межледниковых торфа и гиттии, вскрытая в разрезе Нижинский Ров близ г. Шклова Могилевской области (см. рис. 2). Отложения этого возраста могут быть представлены также озерными супесями и сапропелитом.

mg 1 *Larix – Betula – Pinus*

Данная зона лучше всего представлена в двух разрезах: обн. Нижнинский Ров [11; 16; 26; 34 и др.] и скв. 13Б у д. Красная Дуброва [27].

Содержание пыльцы травянистых растений (Poaceae, *Artemisia*, Cyperaceae, Chenopodiaceae, Fabaceae, Apiaceae и др.) в общем составе спектров снижается до 2 %. Отмечена пыльца водно-болотных и водных растений – *Typha latifolia*, *Potamogeton*, *Nuphar*. В составе спор присутствуют *Sphagnum*, *Lycopodium* (в том числе *L. inundatum*), Polypodiaceae, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Thelypteris palustris* Schott.

Древесные породы представлены преимущественно пыльцой *Pinus sylvestris* (до 74,6 % в разрезе Красная Дуброва). Содержание *Larix* sp. и *Picea abies* составляет 2–3 %. Количество пыльцы *Betula* sect. *Albae* достигает 47 %, единично отмечены *Betula nana*, *B. humilis*, *Salix* sp.

Начальная фаза могилевского теплого интервала знаменует собой перестройку природной обста-

новки: сокращается роль открытых пространств, почти исчезают холодолюбивые тундровые виды, по всей территории распространяются хвойно-мелколиственные лесные формации, состоящие преимущественно из сосны обыкновенной, березы пушистой и бородавчатой с участием лиственницы, реже – ели европейской и ивы.

Среди травянистой растительности доминировали злаковые, росли полыни, осоковые, зонтичные и др. Среди водных и водно-болотных растений присутствовали рдест, кубышка, рогоз широколистный. На заболоченных местах селились сфагновые мхи, изредка – кустарниковые виды берез, сохранившиеся после предыдущего холодного интервала. Произрастали плауны, папоротники, в том числе щитовник болотный, орляк обыкновенный.

Для первой фазы могилевского теплого интервала получен довольно широкий диапазон палеотемператур, представленный на рисунке 6. Достаточно бедный состав дендрофлоры этого времени не позволяет получить более достоверных значений.

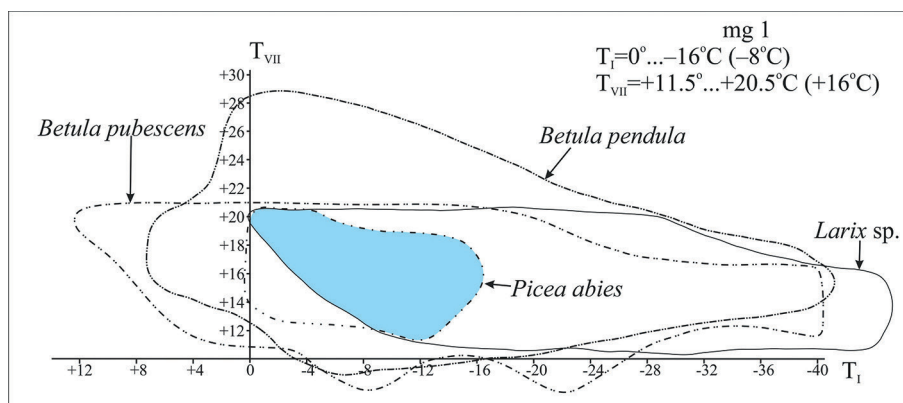


Рисунок 6 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы mg 1 *Larix – Betula – Pinus* могилевского интервала беловежского времени

mg 2 *Quercus – Ulmus – Tilia*

Зона mg 2 выделена в разрезах скв. 3 у д. Смолярка [14]; скв. 13Б у д. Красная Дуброва [27], обн. Нижнинский Ров [11; 16; 26; 34], расч. у д. Костешчи [11].

В общем составе спектров преобладает пыльца древесных растений (до 99 %). Доминирует пыльца хвойных, в частности *Pinus sylvestris*, содержание которой достигает 88,1 % (разрез Красная Дуброва). Отмечены единичные пыльцевые зерна *Larix* sp. и *Picea abies*. Содержание пыльцы *Betula* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) сокращается и не превышает 31,5 % (разрез Красная Дуброва).

В заметном количестве присутствует пыльца термофильных пород. Количество *Quercus* (в основном, *Quercus robur* L., реже *Q. petraea* Liebl.) составляет до 9 % (разрез Смолярка). В разрезе Нижнинский Ров отмечены наибольшие для данной

зоны значения *Carpinus* (*Carpinus betulus* L.) – до 10,8 %, *Tilia* (*Tilia cordata* Mill.) – до 6,7 %, *Ulmus* (*Ulmus laevis* Pall., *U. minor* Mill.), *Corylus avellana* L. – до 6,2 %. Присутствуют пыльцевые зерна *Fraxinus excelsior* L., *Populus tremula* L., *Salix* sp. Отмечено заметное содержание пыльцы *Alnus* (*Alnus incana* Moench, *A. glutinosa* (L.) Gaertn.) – до 39,3 % (разрез Красная Дуброва). В юго-западном разрезе Смолярка обнаружены такие экзоты, как *Vitis sylvestris* (C.C.Gmel.) Hegi и *Pterocarya*.

Пыльца травянистых растений содержится в количестве до 7,7 %, она представлена Cyperaceae, *Artemisia*, Poaceae, Chenopodiaceae, Ranunculaceae, Rubiaceae, Fabaceae, Plantaginaceae, Brassicaceae, Rosaceae, Asteraceae, Apiaceae и др. Среди пыльцы водных и водно-болотных растений отмечены *Potamogeton*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*, а среди спор – *Selaginella helvetica* (L.) Spring, *Pteridium*

aquilinum, *Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert., *Thelypteris palustris*.

В данную фазу произрастали хвойные и хвойно-широколиственные леса. Хвойные породы были представлены в основном сосной обыкновенной и елью европейской, а широколиственные – грабом (граб обыкновенный), дубом (дуб черешчатый), вязом (вяз гладкий и полевой), лещиной (лещина обыкновенная) и липой (липа сердцевидная), присутствовали ясень высокий, осина обыкновенная, ива. На увеличение влажности климата указывает распространение формаций из ольхи (ольха серая и черная). В западной части территории Беларуси

в составе лесной растительности могли принимать участие виноград лесной и лапина. В нижнем ярусе лесов селились папоротники, широкое распространение получил щитовник болотный, произрастал орляк.

Среди травянистых растений присутствовали полыни, осоковые, злаковые, зонтичные, лютиковые, маревые и др. Увлажненные участки занимали сфагновые и зеленые мхи. Из группы водных и водно-болотных растений произрастали рдест, рогуз широколистный и узколистный.

Диапазон палеотемператур, реконструированный для данной фазы, представлен на рисунке 7.

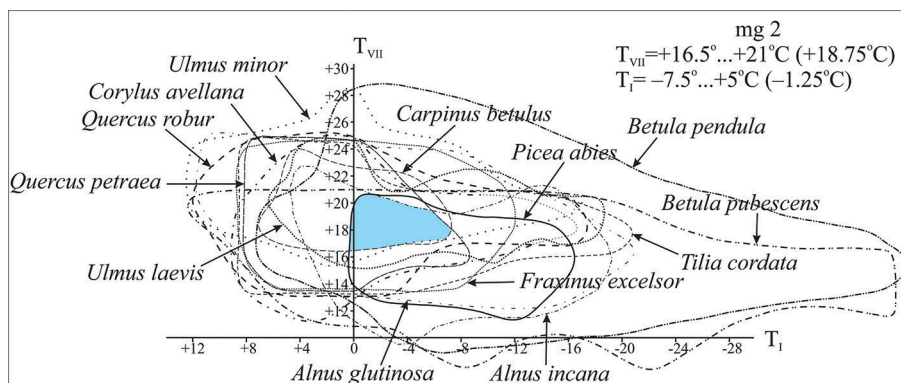


Рисунок 7 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы mg 2 *Quercus* – *Ulmus* – *Tilia* могилевского интервала беловежского времени

mg 3 *Carpinus* – *Quercus* – *Alnus*

Наиболее полно данная зона представлена в разрезах Нижнинский Ров [11; 16; 26; 34 и др.], скв. 3 у д. Смолярка [14], скв. 1350 у д. Угляны [1].

Зона mg 3 отличается значительным участием пыльцы *Carpinus* (*Carpinus betulus*, *C. orientalis* Mill.) в составе спектров, количество которой достигает 27,2 % (разрез Пиваши). Содержание пыльцы *Alnus* (*Alnus incana*, *A. glutinosa*) – до 42,3 % (разрез Красная Дуброва). Присутствуют такие термофильные породы, как *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens* Willd.) – до 13,9 % (разрез Красная Дуброва), *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*) – до 7,2 % (разрез Красная Дуброва), *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) – до 4,9 % (разрез Ляхи), *Corylus* (*Corylus avellana*, изредка *C. colurna* L.) – до 17,7 % (разрез Красная Дуброва). Встречаются единичные пыльцевые зерна *Fraxinus excelsior*, *Acer* sp. и *Vitis sylvestris*.

Количество пыльцы *Pinus sylvestris* колеблется от 20 до 50 %, *Picea abies* до 4,3 % (разрез Нижнинский Ров). Единично отмечены *Larix* sp., *Abies alba* Mill., *Juniperus communis* L. Пыльца *Betula* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) обычно присутствует в количестве до 37,5 % (разрез Нижнинский Ров). В небольшом числе отмечена пыльца *Frangula alnus* и *Salix* sp.

Пыльца травянистых растений представлена единичными пыльцевыми зернами *Artemisia*, *Roaceae*, *Cyperaceae*, *Ericaceae*, *Ariaceae*, *Lamiaceae*, *Brassicaceae* и др. Из водно-болотных отмечены *Typha latifolia*, *Nuphar*, *Alismataceae*, *Potamogeton*, *Sparganium* и др. Присутствуют споры *Bryales*, *Sphagnum*, *Polypodiaceae*.

В это время на территории исследований были распространены преимущественно широколиственные дубово-грабовые леса с участием других термофильных пород. Главными эдификаторами являлись граб (граб обыкновенный, восточный) и дуб (дуб черешчатый, скальный, пушистый). Существенную примесь составляли вяз (вяз малый, гладкий), липа (липа сердцевидная, крупнолистная, серебристая), лещина (лещина обыкновенная, изредка древовидная), реже – ясень высокий и клен. Заметную примесь образовывали березы пушистая, бородавчатая. Произрастали ива, крушина ломкая, виноград лесной. Значительные площади занимали ольшаники из ольхи черной и серой. Меньшую роль играли хвойные фитоценозы, которые состояли из сосны обыкновенной, ели европейской, реже пихты белой и лиственницы.

В состав травянистой растительности входили полынь, злаковые, осоковые, вересковые, астровые, зонтичные, яснотковые, крестоцветные и др. На увлаж-

ненных участках произрастали сфагновые и зеленые мхи, в напочвенном покрове лесов – папоротники. В пределах палеоводоемов селились рогоз широколистный, кубышка, рдест, ежеголовник, частуховые.

Для данной фазы получен диапазон палеотемператур, представленный на рисунке 8. Эти параметры являются самими высокими для всего могилевского интервала, однако как летние, так и зимние тем-

пературы оказались ниже, чем таковые для самой теплой фазы борковского интервала беловежского времени (средняя $T_{VII} = 21,25^{\circ}\text{C}$, а $T_I = +1,5^{\circ}\text{C}$) [41]. При этом летние температуры несколько превышали значения, полученные для оптимума голоцена ($+19,5^{\circ}\text{C}$) [12; 13], а зимние по разным данным были почти на 2°C ниже (0°C) [13] либо более, чем на 2°C , выше (около -4°C) [12] голоценовых.

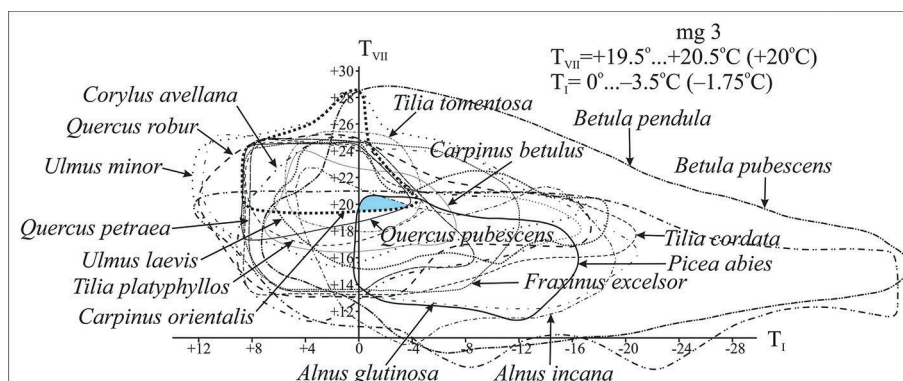


Рисунок 8 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы mg 3 *Carpinus* – *Quercus* – *Alnus* могилевского интервала беловежского времени

mg 4 *Picea* – *Pinus* – *Betula* – *Carpinus*

Наиболее полно эта зона представлена в разрезах скв. 3109 у д. Пиваши [25] и обн. Нижнинский Ров [11; 16; 26; 34 и др.].

Данная зона характеризуется заметным участием пыльцы *Carpinus*, количество которой может достигать 14,8 % (разрез Пиваши). Содержащие пыльцы других термофильных пород снижаются практически до полного их исчезновения. Возрастает доля пыльцы хвойных пород: *Pinus sylvestris* – до 61,8 % (разрез Пиваши), *Picea abies* – до 6,9 % (разрезы Ляхи и Пиваши), *Larix* sp. – до 3,6 % (разрез Нижнинский Ров). Присутствуют единичные пыльцевые зерна *Juniperus communis*. Количество пыльцы *Betula* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) возрастает до 60,6 % (разрез Нижнинский Ров). Отмечены единичные зерна *Salix* sp. и *Frangula alnus*.

Возрастает содержание пыльцы травянистых растений, наибольшую роль среди которой играют *Artemisia*, *Cyperaceae*, *Poaceae*. Пыльца водных и водно-болотных представлена *Myriophyllum*, *Nuphar*, *Alismataceae*, *Sparganium*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*. Среди спор отмечены *Bryales*, *Sphagnum*, *Polypodiaceae*.

В это время преобладающие в предыдущей фазе широколиственные леса сменились смешанными лесными формациями, где доминировали сосна обыкновенная, береза (береза пушистая, бородавчатая), граб обыкновенный, значительную примесь составляла ель европейская. Произрастали ива, крушина ломкая, можжевельник обыкновенный. Заметно сократилось роль ольшаников, хотя

они по-прежнему заселяли пониженные и увлажненные места.

Тенденция климата к похолоданию отражается и в расширении открытых площадей, занятых травянистой растительностью и кустарничками. Произрастали полыни, злаковые, осоковые, маревые, астровые, зонтичные, яснотковые, вересковые и др., на заболоченных участках – сфагновые и зеленые мхи.

Для данной фазы получен диапазон палеотемператур, представленный на рис. 9. Реконструированные параметры являются более низкими, чем для предыдущей фазы, и указывают на тенденцию климата к похолоданию.

Данная зона охарактеризована только в разрезе Нижнинский Ров Шкловского района Могилевской области [11; 16; 26; 34 и др.].

mg 5 *Betula* – *Pinus* – *Picea*

Зона mg 5 отличается почти полным исчезновением пыльцы термофильных пород, в том числе *Carpinus*. Преобладает пыльца *Betula pendula* и *B. pubescens* (до 60 %). Присутствуют пыльцевые зерна *Pinus sylvestris* (до 20 %), *Picea abies* (5–10 %) и *Larix* sp. (до 6,2 %). Отмечена пыльца *Juniperus communis*, *Frangula alnus*, *Salix* sp.

Содержание пыльцы травянистых растений достигает 20 %, отмечены *Artemisia*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae*, *Chenopodiaceae*, *Ranunculaceae*, *Caryophyllaceae* и др. Из водных и водно-болотных присутствуют *Myriophyllum*, *Nuphar*, *Potamogeton*, *Alismataceae*, *Sparganium*, *Typha latifolia*. Споры представлены *Sphagnum* и *Polypodiaceae*.

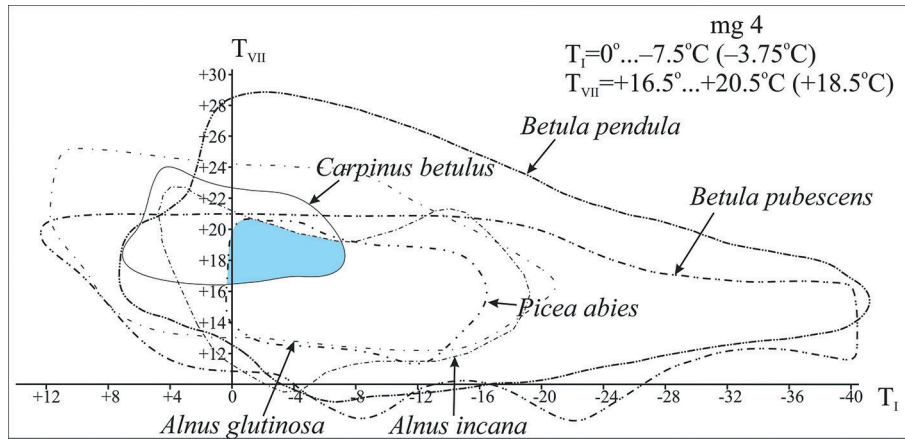


Рисунок 9 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы mg 4 *Picea* – *Pinus* – *Betula* – *Carpinus* могилевского интервала беловежского времени

Данная фаза характеризуется развитием смешанных хвойно-мелколиственных лесов. Произрастали сосна обыкновенная, береза пушистая и бородавчатая, ель европейская, лиственница, ива, можжевельник обыкновенный, крушина ломкая.

Все больше расширялись безлесные территории, на которых произрастали злаковые, полыни, осоковые, астровые, маревые, зонтичные, лютиковые, гвоздичные и др. Увлажненные участки заселяли сфагновые мхи. В палеоводоемах селились уруть, кубышка, ежеголовник, рдест, частуховые, по берегам – рогоз широколистный.

Для данной фазы получен диапазон палеотемператур, представленный на рис. 10. Заметно более низкие летние и зимние параметры отражают дальнейшую тенденцию к похолоданию березинского времени.

Пыльцевые зоны mg 2 – mg 4 могилевского подгоризонта прослежены в 7 разрезах (см. табл. 2) в разных областях территории Беларуси

и могут быть вполне сопоставимы с соответствующими зонами в разрезах смежных регионов [29; 45–47 и др.], что позволяет придать им статус региональных. Таким образом, схема палиностратиграфического расчленения отложений могилевского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси будет выглядеть следующим образом (табл. 4).

Верхняя граница зоны mg 5 является верхней границей могилевского подгоризонта и всего беловежского горизонта, а также нижней границей березинского горизонта плейстоцена Беларуси. Основанием для проведения этой границы в разрезах является смена характера отложений: насыщенные органическим веществом озерные и болотные образования сменяются более бедными супесями и суглинками, а также смена состава спектров, выраженная в снижении количества пыльцы древесных пород, значительном увеличении количества пыльцы травянистых растений и появлении холодолюбивых тундровых видов.

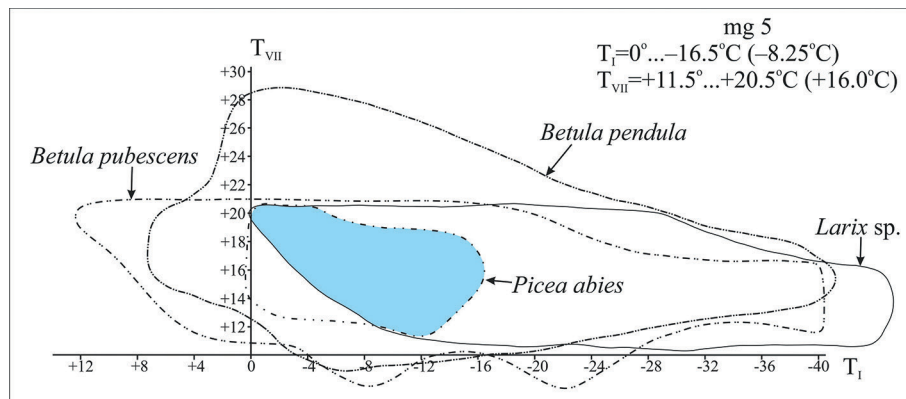


Рисунок 10 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы mg 5 *Betula* – *Pinus* – *Picea* могилевского интервала беловежского времени

Таблица 4 – Палинотратиграфическое расчленение отложений могилевского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси (с учетом новых данных)

Система	Отдел	Подотдел	Горизонт	Подгоризонт	Пыльцевые зоны (PAZ/R PAZ)	
Четвертичная	Плейстоцен	Средний	Беловежский	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>
					mg 1	<i>Larix – Betula – Pinus</i>

Березинский горизонт (нижняя часть)

Ареальным стратотипом березинского горизонта является сложный комплекс ледниковых пород в долине р. Березины. Нижнеберезинские отложения представлены в палинологически изученных разрезах супесями и суглинками, реже – торфами. В рассматриваемых отложениях выделена только одна пыльцевая зона.

bz-s-1 NAP – Betula – Larix

Данная зона охарактеризована в следующих разрезах: скв. 302 у д. Ляхи [3], скв. 3 у д. Смолярка [14], скв. 3109 у д. Пиваши [25], скв. 55Б у д. Красная Дуброва [24], обн. Нижнинский Ров [11; 16; 26; 34 и др.].

Зона bz-s-1 характеризуется значительным возрастанием количества пыльцы травянистых растений (до 43,2 % в разрезе Смолярка), которое остается высоким на протяжении всего интервала. Преобладают пыльцевые зерна *Artemisia* (до 21,6 % в разрезе Пиваши), *Ranunculaceae* (до 11,9 % в разрезе Смолярка), *Roaceae* (до 10,7 % в разрезе Пиваши), *Syraceae* (до 10,6 % в разрезе Смолярка), в меньшем числе присутствуют *Ericaceae*, *Caryophyllaceae*, *Ariaceae*, *Polygonaceae* и др. Пыльца водных и водно-болотных представлена *Myriophyllum*, *Alismataceae*, *Sparganium*, *Potamogeton*, *Typha latifolia*, *T. angustifolia*. В составе спор отмечены *Bryales* (до 36,2 % в разрезе Смолярка), *Sphagnum* (до 22,1 % в разрезе Пиваши), единично *Polypodiaceae*, *Selaginella selaginoides*, *Botrychium lunaria* и др.

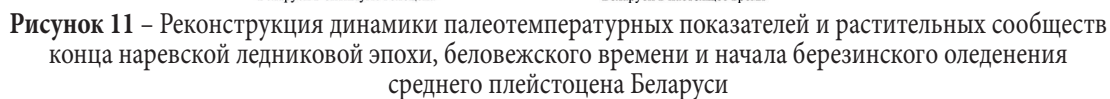
Среди пыльцы древесных пород доминирует *Betula*, причем присутствуют как древесные, так и кустарниковые виды. Так, в разрезе Смолярка количество пыльцы *Betula sect. Albae* достигает 42,9 %, *Betula nana* и *B. humilis* – 33,2 %. Пыльца хвойных пород представлена *Pinus sylvestris* (до 78 % в разрезе Ляхи), *Picea abies* (до 3,6 % в разрезе

Смолярка), реже *Larix sp.* Отмечена пыльца *Salix sp.* (до 3,3 % в разрезе Смолярка), *Juniperus communis* (до 1,3 % в том же разрезе) и единично *Frangula alnus*, *Hippophaë rhamnoides*.

В начале березинского оледенения на территории исследований господствовали ландшафты лесотундры, а позднее и тундры, где среди открытых пространств произрастали редкие лесные группировки. В составе травянистого покрова преобладали полыни, злаковые, лютиковые, маревые, гвоздичные, зонтичные, розоцветные и др. На распространенных сфагновых болотах произрастали береза карликовая, приземистая, кустарнички семейства вересковые. Сосново-мелколиственные редколесья тяготели, по-видимому, к долинам крупных рек. В их состав входили береза пушистая и бородавчатая, сосна обыкновенная, реже – лиственница, ель. В подлеске произрастали различные виды ив, можжевельник обыкновенный, крушина ломкая, облепиха крушиновидная, а напочвенный покров слагали папоротники (в том числе гроздовник полунный) и плаунковые (плаунок плаунковидный). Произрастали такие водные и водно-болотные растения, как уруть, ежеголовник, рдест, частуховые, рогоз широколистный и узколистный.

Диапазон палеотемператур, полученный для данной фазы, соответствует таковому для начала нижнинского холодного интервала (рис. 3), однако, судя по составу спектров, температуры могли тяготеть к более холодной его части.

Общая динамика палеотемператур для конца наревской ледниковой эпохи [41], борковского [41], нижнинского и могилевского интервалов беловежского времени и начала березинского оледенения представлена на рисунке 11 (современные температуры даны в соответствии с [6], а температуры голоцена – по [13]).



нии типа флоры, выделенной из них. Так, межледниковые флоры характеризуются господством лесных формаций и неморальной растительности. Для стеногляциальных фаз ледниковых эпох свойственно отсутствие лесного покрова и распространение тундровых видов, а в межстадиальные периоды лесные формации лишь присутствовали, но не доминировали, а растительность в них была представлена умеренно бореальными видами [8; 9; 20].

Согласно стратиграфической терминологии, принятой в Польше, межледниковье – это интервал времени, растительность самой теплой части которого указывает на климат, по крайней мере, такой же теплый, как в оптимуме голоцена в том же регионе [54].

Имеют место и другие определения, которые основаны на том, что межледниковье – это интервал, соответствующий максимальному пику морской изотопно-кислородной кривой в стадии с нечетным номером, отражающему минимальное количество $\delta^{18}\text{O}$ в теплых интервалах; по другим данным, это период, характеризующийся определенными температурами, уровнем моря, содержанием углекислого газа в атмосфере и т. д. [44].

На полученном в результате данной работы графике (см. рис. 11) видно, что средние температуры

В связи с выполненными исследованиями, показавшими существенную разницу в характере растительности и климатических параметрах интервалов времени, соответствующих борковскому, нижнинскому и могилевскому подгоризонтам, возникает вопрос о правомерности объединения последних в один беловежский горизонт.

Есть несколько точек зрения на определение термина «межледниковье» и на отличия между понятиями «межледниковье» и «интерстадиал». Согласно геологическому словарю [7], межледниковье – интервал геологического времени, разделяющий ледниковые эпохи. Характеризуется значительным потеплением климата и полным исчезновением ледниковых покровов в умеренных широтах, а интерстадиал – термин, употребляющийся для обозначения относительно кратковременных синхронно проявившихся на значительной территории фаз потепления климата в ледниковые эпохи, сопровождавшихся вторичным отступанием ледников, ограниченным смещением ландшафтных зон без их существенной перестройки.

В. П. Гричуком был предложен вариант разделения отложений на ледниковые (межстадиальные и стеногляциальные) и межледниковые на основа-

самого теплого месяца в оптимумах как борковского, так и могилевского интервалов превышали не только современные значения [6], но также и параметры, полученные для оптимума голоцена [12; 13]. В оптимальных фазах борковского и могилевского теплых интервалов господствовали широколиственные и хвойно-широколиственные леса, распространение которых по всей территории Беларуси может свидетельствовать об отсутствии оледенения в умеренных широтах в соответствующие отрезки времени.

Во время нижнинского холодного интервала доминировали ландшафты типа тундры или лесотундры, и, вероятно, на севере Европы имело место малое оледенение, не доходившее до границ современной Беларуси, о чем впервые писал Л. Н. Вознячук [4; 5], а позднее данная гипотеза была поддержана и другими исследователями [14 и др.], она также изложена в пояснении к принятой стратиграфической схеме квартера [39]. Нижнинский интервал подразделяется на стадиалы и интерстадиалы, что характерно для ледниковых эпох.

Принимая во внимание полученные новые данные и приведенные выше определения, можно сделать вывод, что как борковский, так и могилевский теплые интервалы соответствуют критериям межледниковья. А нижнинский интервал, по всей видимости, соответствует малому оледенению, когда имело место расширение материкового ледникового покрова в Северном полушарии.

Существуют также некоторые отличия в составе отложений борковского, нижнинского и могилевского возраста в изученных разрезах. Так, борковские и могилевские образования обычно представлены породами со значительным содержанием органического вещества – мергелями, сапропелитами, гиттиями, диатомовыми супесями, реже – болотными торфами. В то же время нижнинские отложения представлены суглинками, глинами, иногда песками, менее насыщенными органическими остатками.

Отложения борковского подгоризонта обладают заметной мощностью – от 0,4 до 22,5 м (средняя – 6,37 м), известны в более чем 30 местонахождениях и меньше всего затронуты эрозионной деятельностью последующих оледенений. Нижнинские и могилевские отложения изучены в гораздо меньшем числе разрезов и, вероятно, ввиду их положения выше борковских, были чаще подвержены размыву и экзарации. Они также обладают сравнительно меньшей мощностью. Так, мощность нижнинских колеблется от 0,3 до 8,8 м (средняя 3,3 м), а могилевских – от 0,4 до 7,6 м (средняя 1,96 м).

Согласно стратиграфическому кодексу Российской Федерации, горизонт – «основная таксономическая единица региональных стратиграфиче-

ских подразделений, включающая разновозрастные свиты, серии или части (по разрезу) тех и других, а также биостратиграфические подразделения, как правило, провинциального распространения. Объединяет по латерали фациально различные отложения, образованные в разных районах (фациальных зонах) палеобассейна седиментации. Выполняет с помощью различных методов корреляционную функцию в пределах своего географического распространения» [40].

В рамках данного кодекса рассматриваются также климатостратиграфические подразделения. Так, «климатолит – основная таксономическая единица региональных климатостратиграфических подразделений – представляет собой совокупность горных пород, сформировавшихся за время одного климатического полуритма интенсивного похолодания (криомер) или потепления (термомер), проявленного в региональном масштабе. В средних широтах он отвечает ледниковью или межледниковью... Климатолитам, как правило, соответствуют... региональные горизонты верхней части разреза отложений четвертичной системы... Климатолит должен иметь стратотип, который может быть ареальным» [40].

Опираясь на вышеназванные определения, можно утверждать, что борковский, нижнинский и могилевский подгоризонты соответствуют рангу горизонтов, т. к. отвечают либо только потеплению, либо только похолоданию, проявляются в региональном масштабе (в том числе и на территориях смежных государств) и охарактеризованы в стратотипических разрезах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выполнен детальный анализ палинологических данных по более чем десяти разрезам, вскрывшим отложения нижнинского и могилевского подгоризонтов беловежского межледниковья плейстоцена Беларуси, а также перекрывающие их образования нижней части березинского горизонта. Охарактеризован состав спорово-пыльцевых спектров каждой пыльцевой зоны. В рамках нижнинского подгоризонта, кроме уже известных трех пыльцевых зон, выделены еще две зоны, изученные в четырех разрезах, и позволяющие предполагать, что в нижнинское время имели место три стадиала и два интерстадиала. Пыльцевым зонам *nz 1* – *nz 3* нижнинского подгоризонта и *mg 2* – *mg 4* могилевского подгоризонта предлагается придать статус региональных.

Полученные спорово-пыльцевые данные легли в основу реконструкции развития растительности и динамики климата в течение соответствующих интервалов времени. Так, во время нижнинского

холодного интервала в интерстадиальные фазы доминировали растительные сообщества типа лесотундры и бореальных лесов, в стадиальные периоды – лесотундры, а в самой холодной фазе – тундры. Последующий могилевский теплый интервал характеризуется улучшением климатических условий и господством вначале смешанных хвойно-мелколиственных, а в оптимальные фазы – хвойно-широколиственных и широколиственных лесов. Выявлены некоторые виды древесных пород, которые не были ранее отмечены в отложениях рассматриваемого возраста, такие как *Carpinus orientalis* и *Corylus colurna*. Для самой теплой фазы могилевского времени получены следующие палеотемпературы: сред-

няя $T_{VII} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а $T_I = -1,75\text{ }^{\circ}\text{C}$. В начале березинского оледенения территорию Беларуси вновь стали занимать лесотундровые и тундровые ландшафты, климат становился все более суровым.

Согласно полученным данным, есть основания борковскому, нижнинскому и могилевскому подгоризонтам беловежского горизонта плейстоцена Беларуси присвоить ранг горизонтов, что согласуется с принятыми понятиями межледниковья и ледниковья, а также горизонта и подгоризонта. Вероятно, их также можно объединить в один беловежский надгоризонт. Вопрос о внесении соответствующих изменений в схему четвертичных отложений Беларуси может быть вынесен на заседание Стратиграфической комиссии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Березовский** страторайон плейстоцена Белоруссии / Ф. Ю. Величевич [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1993. – 146 с.
2. **Борисова, О. К.** Палеофлористический метод / О. К. Борисова, Э. М. Зеликсон // Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии. Вып. III. – М. : ГЕОС, 2010. – С. 34–42.
3. **Вознячук, Л. Н.** К вопросу о геологическом возрасте отложений беловежского межледниковья / Л. Н. Вознячук, Л. Т. Пузанов // Доклады АН БССР. – 1967. – Т. 11, № 8. – С. 713–716.
4. **Вознячук, Л. Н.** Основные стратиграфические подразделения четвертичных отложений / Л. Н. Вознячук // Материалы по стратиграфии Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1981. – С. 137–151.
5. **Вознячук, Л. Н.** Проблемы гляциоплейстоцена Восточно-Европейской равнины / Л. Н. Вознячук // Проблемы плейстоцена. – Минск : Навука і тэхніка, 1985. – С. 8–55.
6. **Географический атлас учителя : пособие для учителей учреждений общего среднего образования** / Л. В. Компанец [и др.]. – Минск : Белкартография, 2017. – 392 с.
7. **Геологический словарь.** В 3 т. / гл. ред. О. В. Петров. – 3-е изд-е, перераб. и доп. – Т. 2 : К–П. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. – 480 с.
8. **Гричук, В. П.** Значение палеоботанических материалов для стратиграфии валдайских отложений / В. П. Гричук, Е. А. Мальгина, М. Х. Монозон // Последний ледниковый покров на северо-западе европейской части СССР. – М. : Наука, 1969. – С. 57–105.
9. **Гричук, В. П.** Последовательные этапы обработки палинологических данных для решения вопросов геологической практики / В. П. Гричук // Современные аспекты применения палинологии в СССР : сб. науч. тр. ; под ред. С. И. Пуртовой. – Тюмень : ЗапСибНИГНИ, 1983. – С. 3–8.
10. **Гричук, В. П.** Реконструкция климатических показателей раннего кайнозоя по палеофлористическим данным / В. П. Гричук, Э. М. Зеликсон, О. К. Борисова // Климаты Земли в геологическом прошлом : сб. ст. – М. : Наука, 1987. – С. 69–77.
11. **Еловичева, Я. К.** Шкловские (рославльские) межледниковые отложения Белоруссии и смежных территорий / Я. К. Еловичева. – Минск : Навука і тэхніка. – 1979. – 184 с.
12. **Еловичева, Я. К.** Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным) / Я. К. Еловичева. – Минск : Белсэкс, 2001. – 292 с.
13. **Зерницкая, В. П.** Позднеледниковье и голоцен Беларуси: геохронология, осадконакопление, растительность и климат / В. П. Зерницкая. – Минск : Беларуская навука, 2022. – 303 с.
14. **К стратиграфии среднего плейстоцена Беларуси** / Ф. Ю. Величевич [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 1997. – Т. 5, № 4. – С. 68–84.
15. **Количественные реконструкции климата Восточно-Европейской равнины за последние 450 тыс. лет** / А. А. Величко [и др.] // Известия РАН. Сер. Геогр. – 2004. – № 1. – С. 7–25.
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. **Куприянова, Л. А.** Палинология сережкоцветных / Л. А. Куприянова. – Ленинград : Наука, 1965. – 215 с.
18. **Куприянова, Л. А.** Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. Том 1 / Л. А. Куприянова, Л. А. Алешина. – Ленинград : Наука, 1978. – 184 с.
19. **Куприянова, Л. А.** Пыльца и споры растений флоры европейской части СССР / Л. А. Куприянова, Л. А. Алешина. – Ленинград : Наука, 1972. – 171 с.
20. **Лийвранд, Э. Д.** Методические проблемы палинostrатиграфии плейстоцена / Э. Д. Лийвранд. – Таллин : Валгус, 1990. – 176 с.
21. **Махнач, Н. А.** Разрез рославльских (одинцовских, днепровско-московских) межледниковых отложений у г. п. Старобина / Н. А. Махнач // Стратиграфия, литология и полезные ископаемые БССР. – Минск : Навука і тэхніка, 1966. – С. 8–12.
22. **Махнач, Н. А.** Стратиграфическое значение растительности раннего и среднего антропогена Белоруссии / Н. А. Махнач // Материалы по антропогену Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1961. – С. 116–158.
23. **Махнач, Н. А.** О самостоятельности московского оледенения на территории Белоруссии / Н. А. Махнач // Доклады АН БССР. – 1966. – Т. 10, № 1. – С. 37–41.
24. **Махнач, Н. А.** Стратиграфическое расчленение древнеозерных плейстоценовых отложений Речицкого Приднепровья / Н. А. Махнач, Т. Б. Рылова // Плейстоцен Речицкого Приднепровья Белоруссии. – Минск : Навука і тэхніка, 1986. – С. 56–75.
25. **Махнач, Н. А.** Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене / Н. А. Махнач. – Минск : Навука і тэхніка, 1971. – 212 с.
26. **Нижинский Ров** (стратотипический разрез Шкловского межледниковья Белоруссии) / Горещкий Г. И. [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1987. – 273 с.
27. **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.
28. **Обнажение** Обухово – парастратотип беловежского межледниковья Беларуси / А. Ф. Санько [и др.] // Літасфера. – 2004. – № 2 (21). – С. 38–51.
29. **Польное** Лапино / Г. В. Холмовой [и др.] // Опорные разрезы нижнего плейстоцена бассейна Верхнего Дона. – Воронеж : ВГУ, 1984. – С. 116–138.
30. **Природные** условия микулинского (земского) межледниковья в Центральной и Восточной Европе. Сравнительный анализ / А. А. Величко [и др.] // Известия РАН. Сер. Геогр. – 2004. – № 5. – С. 41–57.
31. **Рылова, Т. Б.** Разрез беловежского межледниковья у д. Большое Бахово на востоке Беларуси / Т. Б. Рылова // Геология и полезные ископаемые четвертичных отложений : материалы VIII университетских геол. чтений, 3–4 апр. 2014 г., Минск, Беларусь / редкол. А. Ф. Санько (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Цифровая печать, 2014. – В 2 ч. – Ч. 1. – С. 21–23.
32. **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.
33. **Рылова, Т. Б.** О беловежском возрасте плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1807 у д. Алексеевки Ивацевичского района Брестской области / Т. Б. Рылова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 октября 2023 г. – Брест : БрГУ, 2023. – С. 208–212.
34. **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.
35. **Рылова, Т. Б.** Реконструкция палеотемператур беловежского и могилевского межледниковий Беларуси / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48, № 4. – С. 87–91.
36. **Сладков, А. Н.** Определение видов *Lycopodium* L. и *Selaginella* Spring. по спорам и микроспорам / А. Н. Сладков // Труды института географии АН СССР. – 1951. – Вып. 50. – С. 167–199.
37. **Споры** папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры Европейской части СССР / А. Е. Бобров [и др.]. – Ленинград : Наука, 1983. – 208 с.
38. **Стратиграфическая** схема четвертичных (антропогеновых) отложений Беларуси / Ф. Ю. Величневич [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 1996. – Т. 4, № 6. – С. 75–87.

39. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с. + приложение из 15 стратиграфических схем.
40. **Стратиграфический** кодекс России / 3-е изд., испр. и доп. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. – 96 с.
41. **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.
42. Шик, С. М. Горизонты неоплейстоцена центра европейской России: сопоставление со ступенями общей стратиграфической шкалы, стратотипы и гипостратотипы / С. М. Шик // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 2014. – № 73. – С. 52–62.
43. **Шик, С. М.** Проект региональной стратиграфической схемы неоплейстоцена Европейской России / С. М. Шик, Б. А. Борисов, Е. П. Заррина // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 2004. – № 65. – С. 102–114.
44. **Interglacials** of the last 800,000 years Interglacials / A. Berger [et al.] // Reviews of Geophysics. – 2015. – Vol. 54, iss. 1. – P. 162–219.
45. **Janczyk-Kopikowa, Z.** Flora interglacjału mazowieckiego w Ferdynandowie / Z. Janczyk-Kopikowa // Z. badan czwartorzedu w Polsce. – 1975. – T. 17. – P. 5–70.
46. **Pidek, I. A.** A bi-partite Ferdynandovian succession from Lukow, Eastern Poland: a new palynostratigraphic approach / I. Pidek // Geological Quarterly. – 2010. – № 54 (1). – P. 69–84.
47. **Pidek, I.** Mesopleistocene vegetation history in the Northern Foreland of the Lublin Upland based on palaeobotanical studies of the profiles from Zdany and Brus sites / I. Pidek. – Lublin, 2003. – 96 p.
48. **Reille, M.** Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, Supplément 1 / M. Reille. – Marseille : Laboratoire de botanique historique et palynologie, 1995. – 327 p.
49. **Reille, M.** Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord, Supplément 2 / M. Reille. – Marseille : Laboratoire de botanique historique et palynologie, 1998. – 530 p.
50. **Revised** limit of the Saalian ice sheet in central Europe / L. Marks [et al.] // Quaternary International. – 2018. – Vol. 478. – P. 59–74.
51. **Shimakura, M.** Palynomorphs of Japanese plants / M. Shimakura // Special Publications from the Osaka Museum of Natural History. – 1973. – Vol. 5. – 195 p.
52. **Walanus, A.** POLPAL program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis / A. Walanus, D. Nalepka // Acta Palaeobotanica. – 1999. – Suppl. 2. – P. 57–67.
53. **Zagwijn, W. H.** The Cromerian Complex Stage of the Netherlands and correlation with other areas in Europe / W. H. Zagwijn // The Early Middle Pleistocene in Europe. – Rotterdam : Balkema, 1996. – P. 145–172.
54. **Zasady** polskiej klasyfikacji i terminologii stratygraficznej czwartorzędu // L. Marks [et al.] – Warszawa : Polska Akademia Nauk, Warszawska Drukarnia Naukowa, 2014. – 72 s.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 19.10.2023

Рэцэнзент А. В. Мацвееў

ПАЛІНАСТРАТЫГРАФІЯ І ЎМОВЫ ФАРМІРАВАННЯ АДКЛАДАЎ НІЖНІНСКАГА І МАГІЛЁўСКАГА ПАДГАРЫЗОНТАЎ БЕЛАВЕЖСКАГА ГАРЫЗОНТУ ПЛЕЙСТАЦЭНУ БЕЛАРУСІ

Г. В. Шыдлоўская

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

Абагульнены вынікі шматгадовых паліналагічных даследаванняў адкладаў ніжнінскага і магілёўскага падгарызонтаў белавежскага гарызонту, а таксама перакрываючых іх ніжнебярэзінскіх адкладаў плейстацэну Беларусі. Дэталёва ахарактарызаваны пылковыя зоны, выдзеленыя ў дадзеных сляях. Шэрагу зон прапанавана прысвоіць статус рэгіянальных. Апісаны дзве новыя пылковыя зоны ў адкладах ніжнінскага падгарызонту. Выканана рэканструкцыя расліннасці і клімату адпаведных інтэрвалаў часу, для некаторых фаз колькасныя палеатэмпэратурныя параметры з дапамогай метаду сумяшчэння кліматычных арэалаў атрыманы ўпершыню. Разгледжаны пытанні аб стратыграфічным рангу вывучаных падраздзяленняў.

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

**PALYNOSTRATIGRAPHY AND FORMATION CONDITIONS
OF THE NIZHNIAN AND MOGILEVIAN SEDIMENTS OF THE BELAVEZHIAN 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 results of long-term palynological studies of Nizhnian and Mogilevian deposits of the Belovezhian horizon, as well as the overlying Lower Berezian deposits of the Pleistocene of Belarus, are summarized. The pollen zones identified in these layers are characterized in detail. It is proposed to assign "regional" status to a number of zones. Two new pollen zones are described in sediments of the Nizhnian subhorizon. A reconstruction of the vegetation and climate of the corresponding time intervals was carried out; for some phases, numerical paleotemperature parameters were obtained using the method of combining climatic areas for the first time. Questions about the stratigraphic rank of the studied units are considered.

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

УДК 551.793+551.89 (476.4)

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗРАСТА ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БЛИЗ Г. БЫХОВА МОГИЛЕВСКОЙ ОБЛАСТИ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ПО ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Т. Б. Рылова

ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси»
ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь
E-mail: rylova_tatyana18@mail.ru

Представлены результаты палинологических исследований древнеозерных отложений, вскрытых скважинами 69.1 и 69.2 у г. Быхова Могилевской области. Дана детальная характеристика выделенных в разрезах локальных пыльцевых зон и обоснован возраст изученных отложений. Согласно полученным данным, их формирование происходило в течение большей части муравинского межледниковья, а также в последующее поозерское время. Реконструированы фазы развития растительности, существовавшей на протяжении рассмотренного интервала плейстоцена Беларуси.

Ключевые слова: палинологический анализ, палиностратиграфия, муравинский горизонт, плейстоцен, растительность, Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с исследованиями, выполняемыми в Институте природопользования НАН Беларуси в рамках задания 1.03 «Оценка геологических рисков на территории Беларуси с учетом динамики ландшафтов и особенностей геодинамических, гидрогеологических и геохимических условий» подпрограммы 1 «Природные ресурсы и их рациональное использование» ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг., разработаны региональные палиностратиграфические схемы муравинских межледниковых отложений для западной, центральной и восточной частей Центральной Беларуси, а также выявлены особенности межледниковой растительности и климата на территории исследований [9].

В пределах восточной части данного региона наиболее известными разрезами муравинских межледниковых отложений, детально изученными палинологическим методом, являются Мурава [1; 5; 10; 13], Черноосово [11], Малое Уланово [5], Чериков [3], Азаричи [7; 15], Гребенево (Римашевская, 1963), Полна (Ширина, 1963) и др. Согласно геоморфологическому районированию, эти разрезы расположены в области равнин и низин Предполесья, большей частью в границах Могилевской и Центральноравнинской равнин [2; 4].

В последние годы в связи с работами по глубинному геологическому картированию на территории листа N-36-XIX (Могилев) Государственным предприятием «НПЦ по геологии» на Быховской площади пробурены четыре поисковые скважины (21.2 и 69.1–69.3), вскрывшие древнеозерные отложения, из керна которых были отобраны пробы для палинологического, диатомового и палеокарпологического анализов. В результате выполненных исследований обоснован беловежский возраст плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 21.2 у д. Шилов Угол Могилевской области [14], а в отложениях, изученных по скв. 69.3, пыльца и споры практически отсутствовали.

В данной статье представлены результаты палинологических исследований плейстоценовых отложений, вскрытых скважинами 69.1 и 69.2 у г. Быхова Могилевской области, и охарактеризованы условия их формирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Скв. 69.1 пробурена в 6 км к востоку от г. Быхова, в пойме р. Ухлясть, притока р. Днепр. Согласно описанию, выполненному геологами Государственного предприятия «НПЦ по геологии», скважиной вскрыты следующие отложения:

	Интервал глубин, м
1. Песок бежево-серый гумусированный, заторфованный, с растительными остатками	0,0–2,9
2. Песок светло-серый, мелко-тонкозернистый, хорошо сортированный, содержит мелкие линзочки мелкозернистого гумусированного песка	2,9–4,0
3. Песок серый, светло-серый, крупно-среднезернистый, с мелкими линзами гумусированного песка и гравийными зернами, гальками, дресвой	4,0–8,3

- | | |
|--|-----------|
| 4. Песок светло-серый, мелкозернистый с гравием, в нижней части появляется большое количество более крупного гравийного материала | 8,3–14,6 |
| 5. Супесь светло-серая с бежевым оттенком, карбонатная, слабосцементированная, легкая, с небольшим количеством рассеянного органического вещества | 14,6–20,3 |
| 6. Мергель озерный, серый и светло-серый, легкий, карбонатный, книзу слоистый коричневатобежевый с углефицированными растительными остатками | 20,3–37,5 |
| 7. Песок светло-серый с бежевым оттенком, карбонатный. В верхней части – средне-мелкозернистый, в нижней – среднезернистый с гравийными зернами кварца и полевого шпата; обломки гравийной размерности – до 1 см | 37,5–42,3 |
| 8. Песчано-гравийная смесь серая, бежево-серая, крупнозернистая, карбонатная | 42,3–49,0 |
| 9. Алеврит серый, светло-серый, некрепкий, со слюдястым материалом | 49,0–50,0 |

Скв. 69.2 пробурена в 400 м на юго-восток от скв. 69.1 (рис. 1) у г. Быхова Могилевской области. Согласно описанию, выполненному геологами Государственного предприятия «НПЦ по геологии», скважиной вскрыты следующие отложения:

- | | |
|--|-----------------------|
| | Интервал
глубин, м |
| 1. Песок темно-серый до черного, мелкозернистый гумусированный | 0,0–0,3 |
| 2. Песок серо-желтый, с бежевым оттенком, средне-мелкозернистый, хорошо сортированный | 0,3–3,0 |
| 3. Песок бежево-серый, светлый, в верхней части интервала – среднезернистый, в нижней – крупно-среднезернистый с редкими обломками гравийно-галечного материала, окатанного, уплотненного | 3,0–10 |
| 4. Супесь темно-серая, слабосцементированная, слабокарбонатная, неясно слоистая, комковатая | 10,0–12,0 |
| 5. Песок светло-серый, мелкозернистый | 12,0–13,8 |
| 6. Супесь бежево-серая, слабосцементированная, карбонатная, с элементами слоистости, с обильным раковинным детритом в верхней и прослоями, обогащенными глинистым и органическим веществом, в нижней части интервала | 13,8–18,0 |
| 7. Мергель озерный светло-серый, очень легкий, мелоподобный, книзу с прослоями песка серого среднезернистого | 18,0–26,7 |
| 8. Песок буро-серый разнозернистый с крупными, в разной степени окатанными обломками пород и кремней | 26,7–40,9 |
| 9. Песок серый, светло-серый, мелко-среднезернистый, с комками, желваками глины темно-серой, с редкими крупными (до 10 см) обломками пород | 40,9–44,7 |
| 10. Супесь буровато-серая разнозернистая с гравийно-галечным материалом, массивная | 44,7–50,0 |



Рисунок 1 – Схема района исследований

Дочетвертичная поверхность в регионе исследований представлена отложениями меловой системы, которые подвержены карстовым процессам. На геологическом профиле (рис. 2) видно, что изученная межледниковая толща залегает в палеоложбине, образовавшейся, вероятнее всего, во время отступления сожского ледникового покрова при размыве меловых пород. Выше по разрезу залегают водноледниковые и аллювиальные образования по озерского горизонта, а кровля четвертичной тощи сложена голоценовыми болотными и аллювиальными отложениями, формирующими долину р. Днепр.

Из древнеозерных отложений, вскрытых скважинами 69.1 (гл. 14,6–37,5 м) и 69.2 (гл. 17,10–26,90 м), для спорово-пыльцевого анализа было отобрано соответственно 230 и 94 образца. Выделение пыльцы и спор из породы производилось сепарационным методом с применением тяжелой жидкости. Для определения таксонов использован световой микроскоп Ergaval с рабочим увеличением $\times 400$ и $\times 1000$, а также атласы-определители с детальными морфологическими описаниями пыльцы и спор важнейших представителей современной флоры.

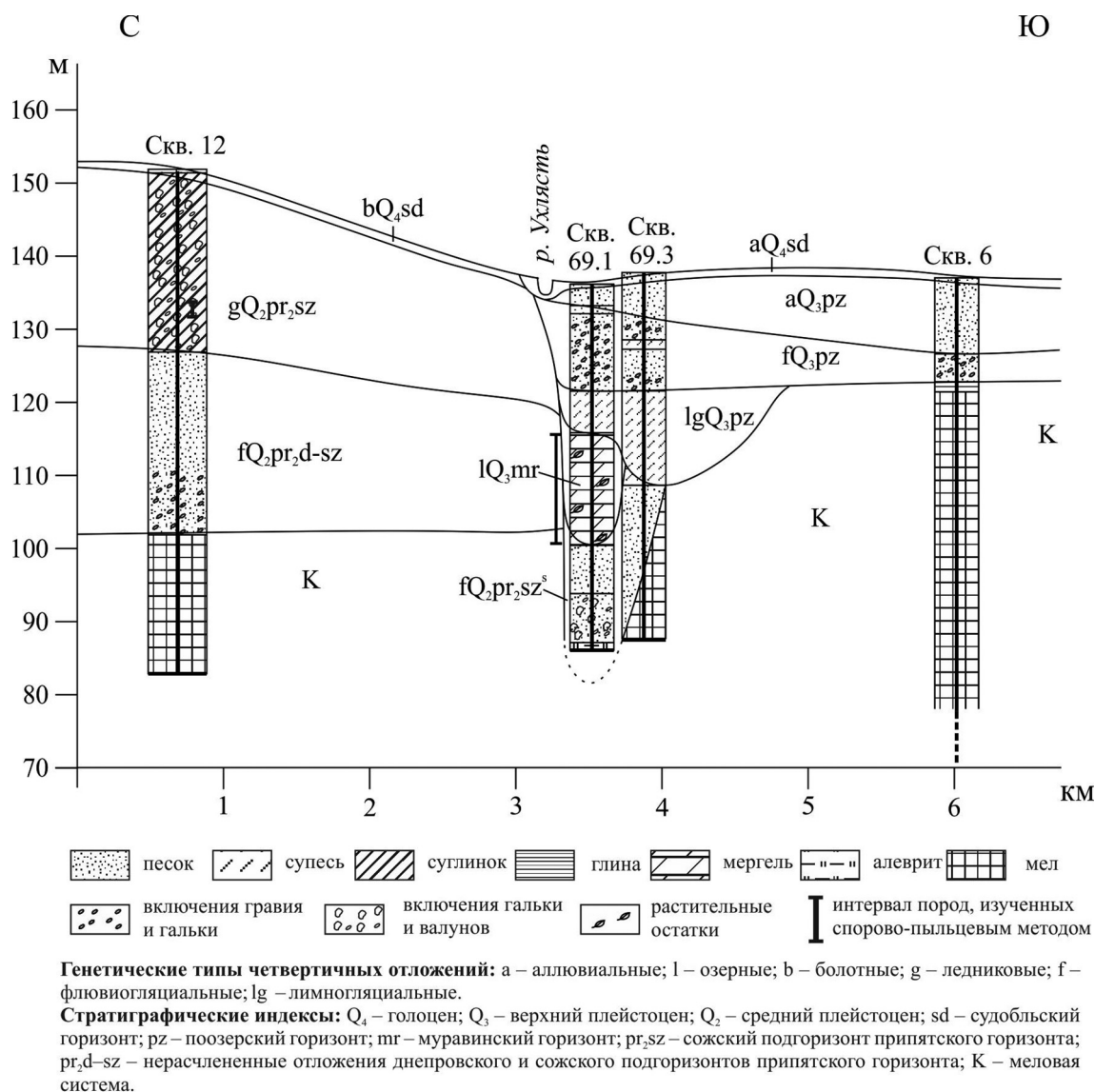


Рисунок 2 – Схематический геологический профиль по линии Воронино – Прибор (составлен А. В. Шидловской)

Спорово-пыльцевые диаграммы построены с помощью компьютерной программы POLPAL [16]. Процентное содержание пыльцы каждого таксона древесных, кустарниковых и травянистых наземных растений вычислялось от суммы AP + NAP (AP –

arborum pollen; NAP – non-arborum pollen), водных растений и спор – от суммы AP + NAP + подсчитываемый таксон.

По особенностям таксономического состава спектров и количественного содержания отдельных

таксонов на диаграммах выделены локальные пыльцевые зоны – L PAZ (local pollen assemblage zones). Последние сопоставлены с соответствующими региональными пыльцевыми зонами – R PAZ (regional pollen assemblage zones) в составе муравинского горизонта плейстоцена Беларуси на основании их определенной последовательности и выявленных особенностей [6; 10; 12].

Состав таксонов и их количественное содержание в каждой локальной зоне послужили основой для реконструкции растительности в районе исследований на протяжении изученного интервала плейстоцена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ниже приведена детальная характеристика спорово-пыльцевых спектров локальных пыльцевых зон, выделенных в плейстоценовых отложениях, вскрытых скважинами 69.1 и 69.2 у г. Быхова Могилевской области, показано их соответствие региональным пыльцевым зонам муравинского горизонта, а также поозерскому горизонту. Выполнена реконструкция последовательных фаз развития растительности в течение муравинского межледникового, а также на протяжении холодного интервала поозерской ледниковой эпохи.

Скважина 69.1 у г. Быхова

В результате палинологических исследований, выполненных по скв. 69.1, получена спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 3), на которой выделено 7 локальных пыльцевых зон (L PAZ): Bh 69.1–1 – Bh 69.1–7 (Bh – Быхов; 69.1 – номер скважины), отражающих неоднократную смену состава спектров снизу вверх по разрезу.

Bh 69.1–1 L PAZ (гл. 35,70–37,55 м) – данная пыльцевая зона характеризуется значительным преобладанием пыльцы древесных пород (AP) – до 93,3 %, пыльцевых зерен травянистых растений (NAP) – в среднем 10 %. Среди AP доминирует *Pinus* (*Pinus sylvestris* L., реже *P. cembra* L.) – 68,5–88,7 %, пыльцы *Picea* (*Picea abies* (L.) Karst., *P. obovata* Ledeb.) – до 7,6 %, *Juniperus communis* L. – до 1 %. Покрытосеменные древесные породы представлены пыльцевыми зернами *Betula* sect. *Albae* (*Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh.) – до 10 %, изредка *Betula nana* L. и *B. humilis* Schrank (в сумме до 2 %), *Salix* sp. – до 1,3 %. Среди NAP преобладает *Artemisia*, реже отмечаются *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Apiaceae*, *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*, *Polygonaceae*, единично отмечены *Ephedra distachia* L. и *Cistaceae* (*Helianthemum* sp.).

Приведенный состав пыльцевых спектров позволяет сопоставить рассмотренную локальную пыльцевую зону с региональной пыльцевой зоной

mr 1 *Pinus* – *Betula* – *Picea*, характеризующей самую нижнюю часть муравинского межледникового горизонта плейстоцена Беларуси. В это время в районе исследований произрастали преимущественно сосновые леса, основной лесообразующей породой была сосна обыкновенная, небольшую примесь создавали сосна кедровая, ель европейская, ель сибирская, береза бородавчатая и береза пушистая, можжевельник обыкновенный. В составе травянистой растительности были представлены полыни, маревые, злаки, осоки, зонтичные, астровые и др.

Bh 69.1–2 L PAZ (гл. 31,9–35,7 м) отличается резкой сменой состава спектров – прежде всего, внезапным и выразительным максимумом пыльцы *Quercus*, представленной тремя видами (*Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl., *Q. pubescens* Willd.), – до 58,8 %. Одновременно появляется пыльца *Corylus* (*Corylus avellana* L., изредка *C. colurna* L.), количество которой постепенно возрастает до 41–43 %, а также *Ulmus* (*Ulmus laevis* Pall., *U. minor* Mill.) – до 5 %, *Fraxinus excelsior* L. – до 2 %, единично присутствует *Acer*. Содержание пыльцы *Pinus sylvestris*, которая доминировала в составе спектров предыдущей зоны, неуклонно снижается и в верхней части рассматриваемого интервала составляет всего 11,8–16,2 %. Среди пыльцы других древесных пород присутствуют *Betula* sect. *Albae* – до 11,5 %, появляется пыльца *Alnus* (*Alnus incana* Moench, *A. glutinosa* (L.) Gaertn.), единично – *Juniperus communis*, *Salix* sp., *Frangula alnus* Mill., *Viburnum opulus* L. и др. В составе пыльцы травянистых растений, количество которой несущественно, отмечаются *Poaceae*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Artemisia* и др. Высшие споровые растения представлены спорами *Polypodiaceae*, *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn ex Decken, *Thelypteris palustris* Schott, единично *Osmunda regalis* L.

Выявленный состав спектров рассмотренной Bh 69.1–2 L PAZ позволяет сопоставить ее с региональной пыльцевой зоной **mr 3 *Quercus* – *Pinus* – *Corylus***, выделенной в отложениях муравинского горизонта и отражающей начальную фазу климатического оптимума муравинского межледникового. В это время на территории исследований произрастали преимущественно широколиственные дубовые и лещиново-дубовые леса, в которых главную роль играл дуб, представленный тремя видами: дубом черешчатым, реже дубом скальным и дубом пушистым, а также сосново-широколиственные леса с небольшим участием ясеня высокого, вяза гладкого и вяза полевого, березы и других древесных пород. Среди кустарников встречались можжевельник обыкновенный, крушина ломкая, калина обыкновенная, ива. Роль травянистой растительности была очень незначительной, в ее составе присутствовали полыни, маревые, злаки, осоки и др. Споровые растения были представлены в основном

папоротниками: орляком обыкновенным, телиптерисом болотным, изредка чистоустом величавым и др.

Следует отметить, что резкая смена состава пыльцевых спектров на границе локальных пыльцевых зон Bh 69.1–1 и Bh 69.1–2 (отсутствие локальной зоны, отвечающей **mr 2 Pinus – Betula – Quercus R PAZ**) может свидетельствовать о наличии перерыва в осадконакоплении на глубине около 35,7 м.

Bh 69.1–3 L PAZ (гл. 28,4–31,9 м) выделяется по значительному возрастанию содержания пыльцы *Corylus* (*Corylus avellana*, изредка *C. colurna*) – до 66,1 %, неуклонному сокращению количества пыльцы *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) – до 6–8 % в верхней части интервала, появлению пыльцы *Tilia* (*Tilia cordata* Mill., *T. platyphyllos* Scop., *T. tomentosa* Moench) – до 6,1 % и *Carpinus betulus* L. – до 4,6 %. Пыльцы *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*) – до 5,3 %, *Fraxinus excelsior* – до 2,6 %, реже присутствует пыльца *Acer* (*Acer campestre* L., *A. platanoides* L., *A. tataricum* L.). Значительно возрастает содержание пыльцевых зерен *Alnus* (*Alnus glutinosa*, *Alnus incana*) – до 24,8 %. Участие в спектрах пыльцы *Pinus sylvestris* и *Betula* sect. *Albae* незначительно. Пыльца травянистых растений, а также споры представлены единично.

Состав спектров данной зоны отвечает **mr 4 Corylus – Quercus – Tilia R PAZ**, выделенной в муравинских отложениях на территории восточной части Центральной Беларуси [9] и отражает самую теплую фазу климатического оптимума муравинского межледникового, когда в лесных сообществах участие термофильных широколиственных пород достигло максимума. Наибольшее распространение имели лещина обыкновенная (изредка присутствовала лещина древовидная) и дуб (дуб черешчатый, скальный, пушистый). Произрастали лещиновые,

дубово-лещиновые леса с участием вяза (вяз малый, гладкий), липы (липа сердцевидная, крупнолистная, серебристая), граба обыкновенного, ясеня высокого, клена (клен полевой, платановидный, татарский) и других термофильных пород. По наиболее пониженным и увлажненным местам селились ольшаники. Состав травянистой растительности, роль которой оставалась несущественной, практически не изменился по сравнению с предыдущей фазой, а участие споровых растений сократилось до минимума. В результате реконструкции палеотемператур, выполненной для данной фазы на территории восточной части Центральной Беларуси, получены следующие параметры: $T_{VII} = +18...+23^{\circ}\text{C}$ ($+20,5^{\circ}\text{C}$), $T_I = -4...+4^{\circ}\text{C}$ (0°C) (рис. 4) [9]. Это были самые высокие температуры в климатическом оптимуме муравинского межледникового.

Bh 69.1–4 L PAZ (гл. 23,2–31,9 м) – для состава спектров наиболее характерным является появление существенного количества пыльцы *Carpinus* (*Carpinus betulus*, реже *C. orientalis* Mill.) – до 61,7 %, возрастание содержания пыльцы *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*) – до 12 %, заметное сокращение участия пыльцы *Corylus* (*Corylus avellana*, изредка *C. colurna*) – с 51 до 18 % и *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*) – с 5,9 до 2,2 %. Из пыльцы других термофильных пород отмечены *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*), *Fraxinus excelsior* и *Acer* (*Acer campestre*, *A. platanoides*). По-прежнему в значительном количестве присутствует пыльца *Alnus* (*Alnus glutinosa*, *A. incana*) – до 23,7 %. В небольшом числе появилась *Picea abies* (до 3,5 %). Роль пыльцы травянистых растений (*Artemisia*, *Cyperaceae*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Apiaceae*, *Asteraceae* и др.), а также спор (*Polypodiaceae*, *Thelipteris palustris*, *Osmunda regalis*) незначительна.

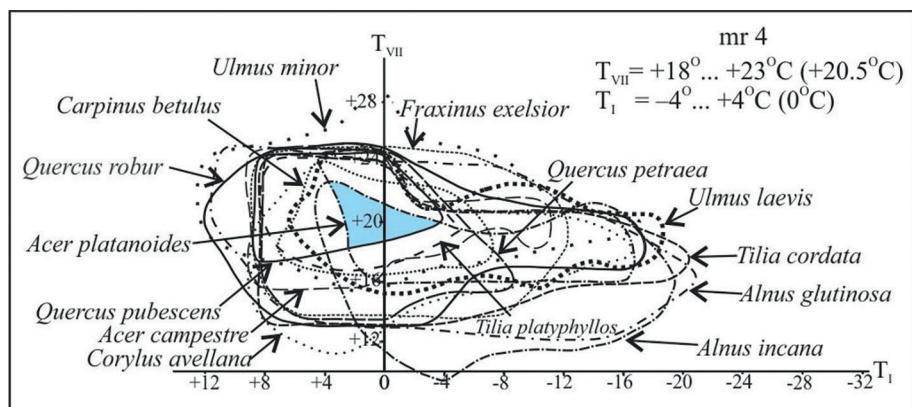


Рисунок 4 – Реконструкция палеотемпературных показателей для фазы **mr 4 Corylus – Quercus – Tilia** муравинского межледникового на территории восточной части Центральной Беларуси [12]

Состав спектров без четко выраженного максимума пыльцы *Tilia* позволяет допустить, что рассмотренная пыльцевая зона может соответствовать

нерасчлененным региональными пыльцевым зонам **mr 5 Tilia – Corylus – Carpinus** и **mr 6 Carpinus – Tilia** муравинского межледникового, во время формиро-

вания которых на территории восточной части Центральной Беларуси были распространены вначале широколиственные леса, в которых главной лесообразующей породой была липа (липа сердцевидная, липа крупнолистная и липа серебристая). Участие лещины и дуба заметно сократилось, а роль граба (граб обыкновенный, реже граб восточный) быстро возрастала (фаза mr 5). Эти леса сменились позднее широколиственными грабовыми и липово-грабовыми лесами с преобладанием граба обыкновенного, существенным участием липы, лещины, примесью дуба, вяза, ясеня, клена, изредка ели европейской (фаза mr 6). Ольховые заросли по-прежнему заселяли наиболее увлажненные места рельефа.

Bh 69.1–5 L PAZ (гл. 20,3–23,2 м) – данная локальная пыльцевая зона отличается максимальным содержанием пыльцевых зерен *Carpinus* (*Carpinus betulus*, реже *C. orientalis*) – до 70,3 % при одновременном постоянном присутствии в спектрах пыльцы *Picea abies*, количество которой постепенно возрастает до 5 %. Сокращается участие пыльцы *Corylus* (*Corylus avellana*, изредка *C. colurna*) – от 30,5 % в нижней части зоны до 3,4–4,5 % в верхней. Пыльцы *Quercus* (в основном *Quercus robur*) – до 9,3 %, *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*) – до 2,7 %, *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*) – до 2,4 %. В незначительном числе, но регулярно отмечается пыльца *Fraxinus excelsior* и *Acer* (*Acer campestre*, *A. platanoides*). По-прежнему высокий процент приходится на пыльцу *Alnus* – до 17,5 %. Участие пыльцы *Pinus sylvestris*, *Betula* sect. *Albae* и *Salix* незначительно. Рассмотренная пыльцевая зона соответствует **mr 7 *Carpinus* – *Picea*** **R PAZ**, выделенной в отложениях муравинского межледниковья.

Для этого времени было характерно распространение широколиственных грабовых и елово-грабовых лесов, в которых доминировал граб (граб обыкновенный, реже присутствовал граб восточный), существенно сократилось участие лещины (лещина обыкновенная, изредка лещина древовидная), липы сердцевидной, дуба черешчатого, вяза гладкого и вяза полевого и других термофильных пород. Наиболее увлажненные места по-прежнему занимали ольшаники.

Bh 69.1–6 L PAZ (гл. 20,25–20,30 м) представлена спектром одного образца из верхней части отложений супеси светло-серой, карбонатной. Зона выделяется по значительному максимуму пыльцы *Picea abies* – 26,4 % и возросшему количеству пыльцевых зерен *Pinus sylvestris* – 18,3 %. Пыльцы *Betula* sect. *Albae* – 6,3 %. По-прежнему в существенном числе присутствует пыльца *Carpinus betulus* – 29,9 %, реже *Quercus robur* – 4,6 %, пыльца других термофильных пород единична. Пыльцевые зерна травянистых растений и споры

представлены в очень незначительном количестве. Рассмотренная локальная пыльцевая зона отвечает региональной пыльцевой зоне **mr 8 *Picea* – *Pinus* – *Carpinus***, выделенной в муравинских отложениях на территории восточной части Центральной Беларуси [9] и соответствующей заключительной фазе климатического оптимума муравинского межледниковья. Во время этой фазы на исследуемой территории произрастали хвойные еловые и сосново-еловые, а также широколиственно-хвойные леса, в которых существенная роль принадлежала грабу.

В нижней части отложений, представленных супесью светло-серой, карбонатной, перекрывающей толщу мергеля озерного, серого и светло-серого, легкого, карбонатного, пыльца и споры были представлены единично либо отсутствовали, а выше, в интервале 14,75–19,55 м, содержались в количестве, достаточном для вычисления процентного содержания отдельных компонентов спектров. Этим отложениям соответствует последняя из выделенных в данном разрезе локальных пыльцевых зон.

Bh 69.1–7 L PAZ (гл. 14,75–19,55 м) – в общем составе спорово-пыльцевых спектров очевидны существенные изменения в соотношении AP/NAP, по сравнению с рассмотренными выше. Для этой пыльцевой зоны характерно заметное преобладание пыльцы травянистых растений (NAP) – до 66,6 %. Таксономический состав последних отличается большим разнообразием. Чаше присутствует пыльца *Artemisia* – до 41,3 %, *Cyperaceae* – до 24,8 %, *Chenopodiaceae* – до 8,6 %, *Poaceae* – до 6,3 %, *Ranunculaceae* (в том числе *Thalictrum*) – до 6 %, *Polygonaceae* (в том числе *Polygonum bistorta* L.) – до 4,9 %. Практически постоянно, но в меньшем числе, представлена пыльца *Caryophyllaceae*, *Apiaceae*, *Helianthemum alpestre* (Jacq.) DC., *Asteraceae*, *Ericaceae*, *Rubiaceae*, *Rosaceae*, единично присутствуют *Ephedra distachya*, *Brassicaceae*, *Geraniaceae*, *Cichoriaceae*, *Sanguisorba officinalis* L., *Valerianaceae*, *Saxifragaceae*, *Dipsacaceae*, *Fabaceae*, *Rubus hamaemorus* L., *Papaveraceae*, *Plantaginaceae*, *Gentianaceae*, *Polemoniaceae* и др. Среди пыльцы водных и прибрежно-водных растений отмечены *Alismataceae*, *Myriophyllum*, *Potamogeton*, *Typha latifolia* L., *T. angustifolia* L. и др.

Содержание пыльцы древесных пород (AP) низкое: 33,4–57,5 %. В основном это *Pinus* (*Pinus sylvestris*, реже *P. cembra* L.) – 7,0–35,3 % и *Betula*: *Betula* sect. *Albae* – до 26,2 %; *Betula nana* и *B. humilis* – в сумме до 17,6 %. Присутствуют также пыльцевые зерна *Juniperus communis* – до 6 %, *Picea* (*Picea abies*, *P. obovata*) – до 6,6 %, *Salix* sp. – до 4,3 %, *Alnaster fruticosus* (Rupr.) Ledeb. – до 3,1 %, единично *Larix* sp.

Из спор чаще отмечаются представители *Sphagnum* – до 10,1 %, *Polypodiaceae* – до 8,3 %, реже

Botrychium lunaria (L.) Sw. – до 1 %, единично – Bryales, *Lycopodium* sp., *Selaginella selaginoides* (L.) Link.

Состав спектров рассмотренной локальной зоны свидетельствует о распространении в регионе исследований открытых безлесных пространств с травянистой, кустарничковой и кустарниковой растительностью, представленной полынями, осоками, маревыми, злаками, гвоздичными, гречишными, зонтичными, лютиковыми, хвойником двухколосковым, можжевельником обыкновенным, ивой, березой карликовой, березой приземистой и др. Среди споровых растений присутствовали плаунок плауновидный, гроздовник, сфагновые мхи. Небольшие группировки лесной растительности создавали древесные виды берез, ель европейская и ель сибирская, сосна обыкновенная и сосна кедровая. Существование тундровых и лесотундровых ландшафтов свидетельствует о том, что формирование соответствующих отложений происходило в условиях холодного континентального климата на протяжении одного из раннепоозерских стадиялов либо в пленилгациале среднепоозерского времени наступившей ледниковой эпохи.

Таким образом, палинологические исследования плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 69.1 у г. Быхова, позволили выполнить их палиностратиграфическое расчленение на 7 локальных пыльцевых зон, из которых нижние Bh 69.1–1– Bh 69.1–6 отвечают региональным пыльцевым зонам mr 1, mr 3 – mr 8, характерным для муравинского горизонта. Верхняя пыльцевая зона (Bh 69.1–7) выделена в отложениях поозерского горизонта.

Полученные палинологические данные позволили выполнить реконструкцию последовательных фаз развития растительности в исследуемом регионе на протяжении большей части муравинского межледниковья, а также в течение последующей ледниковой эпохи.

Скважина 69.2 у г. Быхова

По результатам выполненных палинологических исследований древнеозерных отложений, вскрытых скв. 69.2, построена спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 5). Выделенные на диаграмме 7 локальных пыльцевых зон (Bh 69.2–1 – Bh 69.2–7 L PAZ) (Bh – Быхов; 69.2 – номер скважины) сопоставлены с региональными пыльцевыми зонами, характерными для отложений муравинского межледникового горизонта плейстоцена Беларуси [6; 10; 12]. Изменения состава выявленных пыльцевых спектров позволяют получить представление о неоднократной смене палеогеографических условий на протяжении времени формирования изученных отложений.

Bh 69.2–1 L PAZ (гл. 24,5–26,9 м) характеризуется значительным преобладанием пыльцы древесных пород в общем составе спектров (84–100 %) над пыль-

цой травянистых растений. Среди AP превалирует *Pinus* (*Pinus sylvestris*, изредка *P. cembra*), ее количество достигает 97,2 %. Постоянно в незначительном числе присутствует пыльца *Picea* (*Picea abies*, *P. obovata*), лишь в самой нижней пробе оно составляет 12,8 %, единично отмечен *Juniperus communis*. Покрытосеменные древесные породы представлены *Betula* sect. *Albae* (*Betula pendula*, *B. pubescens*) – до 10,6 %, а также *Betula nana*, *B. humilis* – в сумме до 3 %.

Единично отмечен *Helianthemum alpestre* (Cistaceae). Из пыльцы травянистых растений в основном присутствует *Artemisia* – до 10,3 %, реже – представители семейств Chenopodiaceae, Gentianaceae, Cyperaceae, Poaceae, Rosaceae, Apiaceae, Asteraceae, Typhaceae, Alismataceae. Среди спор, участие которых несущественно, отмечены Polypodiaceae, *Pteridium aquilinum*, *Thelipteris palustris*.

Данная L PAZ подразделена на две подзоны: «а» и «б». Подзона «а» (гл. 26,5–26,9 м) характеризуется более высоким количеством NAP (10,2–16,0 %), меньшим по сравнению с подзоной «б» содержанием пыльцы *Pinus* (84,0–89,8 %), максимальным числом пыльцевых зерен *Picea* – до 12,8 %. Подзона «б» (гл. 24,5–26,5 м) отличается незначительным участием пыльцевых зерен травянистых растений (0–3,8 %), а также *Picea* (0–1,6 %), но более высоким содержанием пыльцы *Pinus* (86,3–97,2 %).

Рассмотренная локальная зона в целом может быть сопоставлена с региональной пыльцевой зоной **mr 1 *Pinus* – *Betula* – *Picea***, выделенной в отложениях нижней части муравинского горизонта [6; 10; 12]. Она отражает начальную фазу муравинского межледниковья [8], когда получили распространение сосновые леса, где основной лесообразующей породой была сосна обыкновенная, ей сопутствовали береза бородавчатая и береза пушистая, небольшую примесь создавали ель европейская, ель сибирская, можжевельник обыкновенный. Незначительную часть территории занимала травянистая растительность, в составе которой присутствовали полыни, маревые, горечавковые, осоки, злаки, зонтичные, астровые и др.

Не исключено, однако, что подзона «а» рассматриваемой зоны может соответствовать небольшому фрагменту региональной пыльцевой зоны **pt-f-3 NAP – *Pinus* – *Picea obovata*** [6; 12], отвечающей самой верхней части припятского горизонта плейстоцена Беларуси и отражающей завершающую фазу припятской ледниковой эпохи [8].

Bh 69.2–2 L PAZ (гл. 22,75–24,50 м) – данная зона выделяется прежде всего по появлению и постоянному присутствию пыльцы *Quercus robur*, содержание которой постепенно возрастает до 10 %. Также регулярно отмечается пыльца *Ulmus laevis* (до 1,1 %). При этом по-прежнему

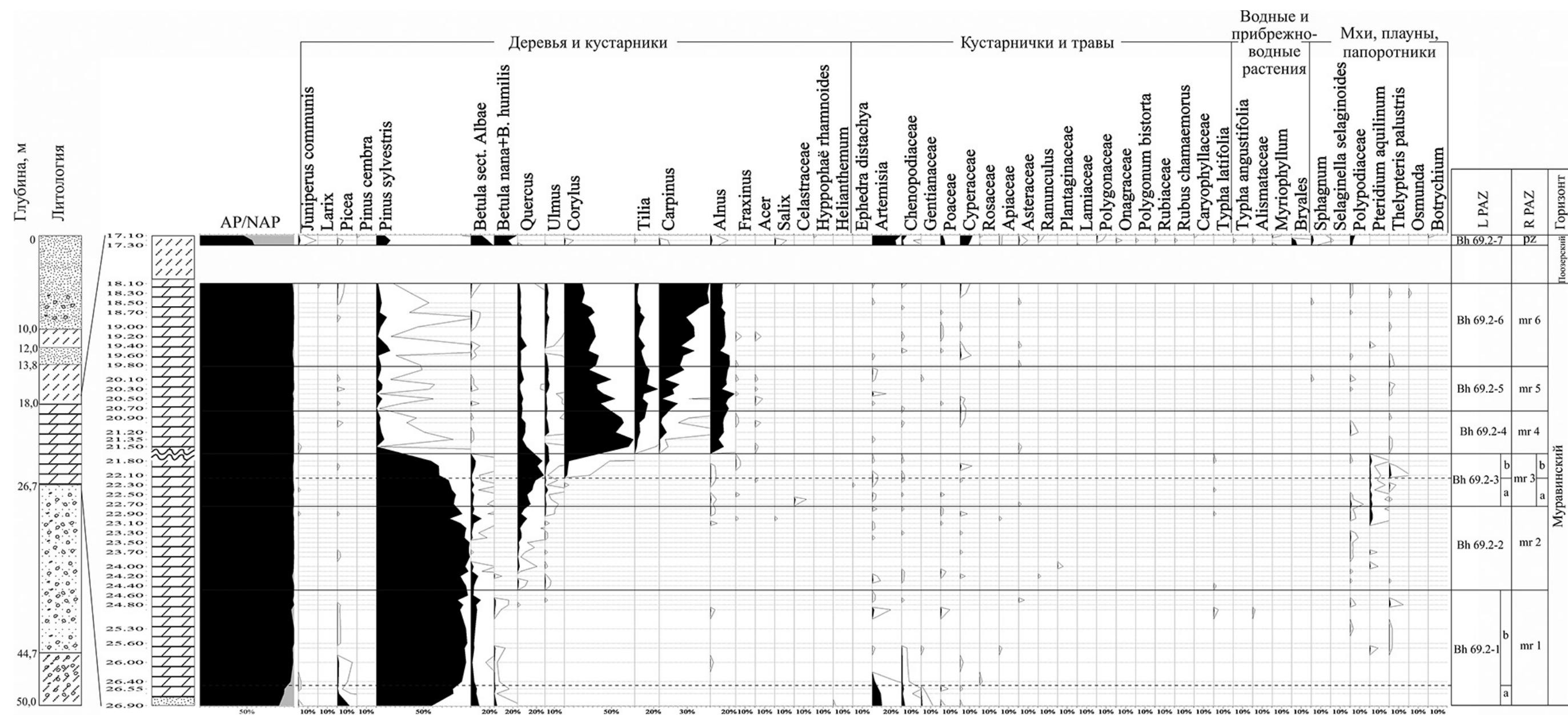


Рисунок 5 – Спорово-пыльцевая диаграмма верхнеплейстоценовых отложений, вскрытых скважиной 69.2 у г. Быхова Могилевской области (анализ выполнен Т. Б. Рыловой)
Условные обозначения см. на рис. 2

в спектрах господствует *Pinus sylvestris* (77,8–98,9 %). Пыльцевые зерна *Betula* sect. *Albae* присутствуют реже, чем в предыдущей зоне. Единично отмечены *Juniperus communis*, *Fraxinus excelsior*, *Salix* sp. Пыльца травянистых растений малочисленна, изредка встречаются представители таких родов и семейств, как *Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Cyperaceae*, *Ariaceae*, *Ranunculus*, *Plantaginaceae* и др. Среди спор чаще отмечаются *Pteridium aquilinum*, *Polypodiaceae*, единично *Thelipteris palustris*. Состав спектров отвечает региональной пыльцевой зоне **mr 2** *Pinus* – *Betula* – *Quercus* муравинского межледникового и свидетельствует о произрастании в районе исследований сосновых лесов с постепенно возрастающим участием дуба черешчатого, незначительной примесью вяза гладкого, ясеня высокого и других термофильных пород.

Bh 69.2–3 L PAZ (гл. 21,65–22,75 м) – для состава спектров характерно возрастание до абсолютного максимума (27,8 %) содержания пыльцевых зерен *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) при сохранении доминирования пыльцы *Pinus sylvestris*, количество которой заметно снижается в верхней части зоны. Появляется *Corylus avellana* (до 5 %), постоянно присутствуют пыльцевые зерна *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*) – до 4,5 %, единично – *Alnus* (*Alnus glutinosa*, *Alnus incana*), *Fraxinus excelsior*, *Celastraceae*. В небольшом числе представлена *Betula* sect. *Albae* (1–5 %). Пыльца травянистых растений (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Asteraceae*) немногочисленна. Среди спор постоянно встречаются *Pteridium aquilinum*, *Thelipteris palustris*, изредка *Polypodiaceae*.

Данная локальная пыльцевая зона соответствует региональной пыльцевой зоне **mr 3** *Quercus* – *Pinus* – *Corylus* муравинского межледникового, которая подразделяется на две подзоны (**mr 3a** *Pinus* и **mr 3b** *Corylus*) [6; 12] и указывает на развитие вначале широколиственно-хвойных лесов, в которых преобладала сосна обыкновенная, участие березы сокращалось, а роль дуба быстро возрастала, а затем, во второй половине фазы, получили распространение хвойно-широколиственные и дубовые леса (дубы черешчатый, скальный и пушистый) с участием вяза гладкого и вяза полевого, ясеня высокого, лещины обыкновенной и других древесных пород. Состав растительности отражает дальнейшее существенное потепление климата.

Bh 69.2–4 L PAZ (гл. 20,80–21,65 м) отличается внезапным, почти полным исчезновением из состава спектров пыльцы *Pinus sylvestris* и высоким максимумом *Corylus* (*Corylus avellana*, изредка *C. colurna*) – до 73,5 %. Заметно сокращается содержание пыльцы *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*) – до 9,6 %, появляются *Tilia*

(*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*) – до 10,6 % и *Carpinus betulus* – до 8 %. Присутствуют также пыльцевые зерна *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*) – до 4,3 %, изредка *Fraxinus excelsior*, *Acer campestre*, *A. platanoides*. В значительном количестве отмечена пыльца *Alnus* (*Alnus glutinosa*, *A. incana*) – до 14,6 %. Пыльцевые зерна травянистых растений и споры единичны. Состав спектров рассмотренной зоны соответствует региональной пыльцевой зоне **mr 4** *Corylus* – *Quercus* – *Tilia*, выделенной в отложениях муравинского межледникового на территории восточной части Центральной Беларуси [9].

В это время в исследуемом регионе произрастали лещиновые (лещина обыкновенная, изредка лещина древовидная) и дубово-лещиновые леса, в которых присутствовали три вида дуба (дубы черешчатый, скальный и пушистый), принимали участие липа (липы сердцевидная, крупнолистная и серебристая), граб обыкновенный, вяз (вяз гладкий и полевой), ясень обыкновенный, клен (клен полевой, платановидный) и другие термофильные древесные породы. В наиболее увлажненных местах рельефа широкое распространение получили ольшаники.

Растительность данной фазы по своему таксономическому составу и количественному участию термофильных древесных пород отражает наиболее теплое время климатического оптимума муравинского межледникового. Как уже отмечалось ранее, в это время летние и зимние палеотемпературы на территории Центральной Беларуси достигли абсолютного максимума: $T_{VII} = +18...+23\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_I = -4...+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 4).

Необходимо отметить, что, несмотря на несоответствие рассмотренных выше локальных пыльцевых зон Bh 69.2–3 и Bh 69.2–4 региональным зонам mr 3 и mr 4 муравинского межледникового, можно предполагать наличие небольшого перерыва в отложениях на глубине около 21,65 м. На это указывает прежде всего резкое сокращение содержания пыльцы *Pinus* с 58,3 % в верхней пробе Bh 69.2–3 до 0,3–5 % в нижних пробах Bh 69.2–4 и внезапное возрастание содержания пыльцы *Corylus* с 4,8 % в верхней пробе Bh 69.2–3 до 69 % в нижней пробе Bh 69.2–4. Также внезапно появляется в нижней пробе Bh 69.2–4 пыльца *Tilia* и *Alnus* (см. рис. 5).

Bh 69.2–5 L PAZ (гл. 19,85–20,80 м) выделяется по максимальному участию в спектрах пыльцы *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*) – до 24,7 % и заметному возрастанию количества пыльцы *Carpinus betulus* – до 26,5 %. Содержание *Corylus* (*Corylus avellana*, изредка *C. colurna*) постепенно снижается до 26,2 % в верхней части рассматриваемого интервала разреза. Высокие значения имеет *Alnus* – до 25,7 %. Пыльцы *Quercus* (*Quercus*

robur, *Q. petraea*) – до 6,6 %, *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*) – до 4,6 %, изредка присутствуют *Fraxinus excelsior*, *Acer campestre*, *A. platanoides*. Пыльцевые зерна *Pinus sylvestris* отмечены в незначительном количестве, *Betula* и *Picea* – единичны. Пыльца травянистых растений (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*, *Poaceae*, *Cyperaceae*) и споры (*Thelipteris palustris*, *Polypodiaceae*, *Sphagnum*) очень редки.

Данная пыльцевая зона отвечает региональной пыльцевой зоне **mr 5 Tilia – Corylus – Carpinus**, выделенной в отложениях муравинского возраста. Состав спектров указывает на произошедшие изменения в лесных сообществах, выразившиеся, прежде всего, в заметном возрастании роли липы и граба при одновременно высоком значении лещины. В это время были распространены широколиственные липовые, лещиново-липовые и липово-грабовые леса со значительным участием лещины обыкновенной, изредка лещины древовидной и небольшой примесью дуба, вяза, ясеня, клена. Существенное место в составе растительности занимали ольшаники.

Bh 69.2–6 L PAZ (гл. 18,10–19,85 м) – данная пыльцевая зона характеризуется преобладанием в спектрах пыльцы *Carpinus* (*Carpinus betulus*, реже *C. orientalis*), содержание которой постепенно возрастает до 53,2 %, а также заметным снижением участия *Tilia* (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*, *T. tomentosa*) – от 11,8 % до 2,8 %. По-прежнему существенную роль играет пыльца *Corylus* (*Corylus avellana*, изредка *C. colurna*) – до 36,5 % и *Alnus* (до 20,6 %). В небольшом числе встречены пыльцевые зерна *Quercus* (*Quercus robur*, *Q. petraea*) – до 9,6 %, *Ulmus* (*Ulmus laevis*, *U. minor*) – до 4,4 %, единично – *Fraxinus excelsior* и *Acer campestre*. Участие пыльцы *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula sect. Albae* незначительно.

Рассмотренная локальная пыльцевая зона отвечает региональной зоне **mr 6 Carpinus – Tilia**, выделенной в отложениях муравинского горизонта, и свидетельствует о распространении в районе исследований широколиственных грабовых и липово-грабовых лесов с существенным участием лещины. По-прежнему в наиболее увлажненных местах рельефа произрастали ольшаники.

В отложениях, залегающих в интервале 17,35–18,10 м, пыльца и споры отсутствовали.

Bh 69.2–7 L PAZ (гл. 17,10–17,35 м) – эта зона отличается резким изменением соотношения количества пыльцы древесных пород (AP) и пыльцы травянистых растений (NAP) в общем составе спорово-пыльцевых спектров. Так, содержание пыльцы древесных пород, которое достигало 100 % в предыдущих межледниковых зонах, здесь составляет всего 46,6–57,8 %. В то же время доля пыльцы травянистых растений достигает 42,2–53,4 %.

Существенно изменился и флористический состав спектров: в группе древесных пород преобладает пыльца *Betula*, причем пыльцы *Betula sect. Albae* содержится до 23,5 %, а пыльца *Betula nana* и *B. humilis* составляет в сумме до 23,8 %. Пыльцевых зерен *Pinus* (*Pinus sylvestris*, изредка *P. cembra*) отмечено лишь до 14,7 %, единично присутствует *Juniperus communis*. Среди пыльцы травянистых растений преобладают *Artemisia* – до 30 % и *Cyperaceae* – до 13 %. Реже отмечена пыльца *Poaceae* – до 5 %, *Chenopodiaceae* – до 5,2 %, единично представлены *Apiaceae*, *Asteraceae*, *Ranunculaceae*, *Polygonaceae* (*Polygonum bistorta*), *Onagraceae*, *Rubiaceae*, *Rosaceae* (*Rubus* sp.), *Caryophyllaceae*. Среди спор присутствуют *Bryales* – до 6 %, *Polypodiaceae* – до 5 %, *Sphagnum* – 2,4 %, *Selaginella selaginoides* и *Botrychium lunaria* (L.) Sw.

Состав спектров данной пыльцевой зоны свидетельствует о доминировании на территории исследований открытых безлесных пространств, где господствовала травянистая, кустарничковая и кустарниковая растительность, в составе которой основную роль играли полыни, осоки, злаки, маревые, произрастали сельдерейные, астровые, лютиковые, гречишные (в том числе горец змеиный), кипрейные, мареновые, розоцветные, гвоздичные и др. Среди споровых растений присутствовали зеленые и сфагновые мхи, плаунок плауновидный, гроздовник полулунный и др. Произрастали можжевельник обыкновенный, береза карликовая и береза приземистая, ива. Роль древесной растительности была незначительной, вероятно, существовали лишь небольшие березовые группировки, занимавшие наиболее благоприятные участки рельефа. Такой состав растительности указывает на распространение тундровых и лесотундровых ландшафтов, формирование которых происходило во время одного из раннепоозерских стадиялов либо в пленигляциале поозерской ледниковой эпохи.

Таким образом, палинологические исследования плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 69.2 у г. Быхова, позволили выполнить их палиностратиграфическое расчленение на 7 локальных пыльцевых зон (Bh 69.2–1 – Bh 69.2–7). Локальные пыльцевые зоны Bh 69.2–1 – Bh 69.2–6 отвечают региональным пыльцевым зонам mr 1 – mr 6, соответствующим отложениям, сформировавшимся на протяжении начальных фаз и большей части климатического оптимума муравинского межледниковья. Верхняя пыльцевая зона (Bh 69.2–7) отвечает отложениям поозерского горизонта плейстоцена Беларуси. Полученные палинологические данные послужили основанием для воспроизведения последовательных фаз развития растительности в регионе на протяжении изученного интервала верхнего плейстоцена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальный анализ данных, полученных в результате выполненных палинологических исследований древнеозерных плейстоценовых отложений, вскрытых скважинами 69.1 и 69.2 у г. Быхова Могилевской области, позволил обосновать их принадлежность к муравинскому и поозерскому горизонтам плейстоцена Беларуси и охарактеризовать фазы развития растительности в регионе исследований на протяжении начальных и оптимальных фаз муравинского межледникового, а также в течение поозерского времени.

Результаты спорово-пыльцевого анализа свидетельствуют о том, что большая часть изученных отложений (скв. 69.1, гл. 20,25–57,45, м и скв. 69.2, гл. 18,1–26,9 м) сформировалась на протяжении муравинского межледникового, на что указывает абсолютное доминирование пыльцевых зерен древесных пород в общем составе спектров, их флористический состав и определенная последовательность локальных пыльцевых зон, соответствующих региональным зонам, выделенным в муравинских отложениях на территории восточной части Центральной Беларуси [9].

Палинологические данные отражают последовательные фазы развития растительности, начиная от смешанных елово-березово-сосновых и сосновых лесов в начале межледникового до широколиственных дубово-лещиновых и лещиновых лесов

с участием липы, вяза, граба, ясеня, клена и других термофильных пород в самое теплое время климатического оптимума межледникового, а затем постепенное снижение роли многих теплолюбивых элементов флоры наряду с возрастанием участия ели, сосны, березы и других древесных пород, свидетельствующие о направленности природного процесса в сторону понижения теплообеспеченности территории к концу межледникового.

Верхняя часть исследованной толщи в скв. 69.1 (гл. 14,75–20,25 м) и скв. 69.2 (гл. 17,10–18,10 м) накопилась в течение холодного интервала последующей поозерской ледниковой эпохи, о чем свидетельствует высокое содержание пыльцы травянистых растений и флористический состав пыльцевых спектров, указывающие на существование в то время безлесных тундровых и лесотундровых ландшафтов.

Палинологические данные, полученные по материалам изучения новых скважин у г. Быхова, дополняют сведения о составе палинофлоры и количественном участии ее компонентов в отложениях муравинского возраста на территории восточной части Центральной Беларуси, а также отражают выявленные ранее их региональные отличия в сравнении с другими регионами [9]. Результаты исследований будут учтены при реконструкции ландшафтов территории Центральной Беларуси в климатическом оптимуме муравинского межледникового.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вальчик, М. А. Опорный разрез муравинско-нижневалдайской аллювиальной толщи в долине р. Березины / М. А. Вальчик, В. М. Феденя, И. Е. Красавина // Доклады АН БССР. – 1989. – Т. 33, № 7. – С. 649–652.
2. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
3. Еловичева, Я. К. Разрез муравинских межледниковых отложений у Черикова / Я. К. Еловичева // Вопросы геологии, геохимии и геофизики земной коры Белоруссии: материалы 1-й науч. конф. молодых ученых, Минск, 12–13 мая 1974 г. – Минск : Наука и техника, 1975. – С. 133–137.
4. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск : Універсітэцкае, 1988. – 320 с.
5. Махнач, Н. А. Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене / Н. А. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1971. – 211 с.
6. Межрегиональная корреляция верхнеприпятских (Upper Wartanian), муравинских (Femian) и нижнепоозерских (Lower Wistulian) пыльцевых зон Беларуси и Польши / Т. Б. Рылова [и др.] // Літасфера. – 2008. – № 1 (28). – С. 64–75.
7. Паўлоўская, І. Э. Позні плейстацэн на ўсходзе Беларусі / І. Э. Паўлоўская, Т. В. Якубоўская, І. Я. Саўчанка // Літасфера. – 2004. – № 1 (20). – С. 22–34.
8. Растительность и климат территории Беларуси и Польши в позднеприпятское (поздняя одра), муравинское (зем) и раннепоозерское (ранний вистулиан) время / Т. Б. Рылова [и др.] // Літасфера. – 2013. – № 2 (39). – С. 3–23.
9. Рылова, Т. Б. Региональные особенности палиоистратиграфии муравинских отложений, межледниковой растительности и климата на территории Центральной Беларуси / Т. Б. Рылова, А. В. Шидловская // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 55–75.

10. **Савченко, И. Е.** Биостратиграфическое расчленение муравинских и нижнепоозерских отложений плейстоцена на территории Беларуси по палинологическим данным / И. Е. Савченко, Т. Б. Рылова // Доклады НАН Беларуси. – 2001, – Т. 45, № 2. – С. 93–99.

11. **Санько, А. Ф.** Цэнтральнабярэзінская раўніна ў неаплейстаэне (па матэрыялах вывучэння св. ТЛ-62 Чарнавосава) / А. Ф. Санько, І. Я. Саўчанка, С. У. Дзямідава // Праблемы палеагеаграфіі позняга плейстаэну і галацэну: матэрыялы бел.-польск. семінара, Гродна, 26–29 верасня 2000 г. – Мінск, 2000. – С. 83–85.

12. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с. + приложение из 15 стратиграфических схем.

13. **Цапенко, М. М.** Антропогеновые отложения Белоруссии / М. М. Цапенко, Н. А. Махнач. – Минск : АН БССР, 1959. – 225 с.

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

15. **Savchenko, I.** Muravian (Eemian) and Early Poozerian (Early Weichselian) sequence at Azarichi section (Eastern Belarus) / I. Savchenko, I. Pavlovskaya // Acta Palaeobotanica. – 1999. – Suppl. 2. – P. 523–527.

16. **Walanus, A.** POLPAL program for counting pollen grains, diagrams plotting and numerical analysis / A. Walanus, D. Nalepka // Acta Palaeobotanica. – 1999. – Suppl. 2. – P. 57–67.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 23.02.2024

Рэцэнзент С. У. Дзямідава

АБГРУНТАВАННЕ ЎЗРОСТУ ПЛЕЙСТАЦЭНАВЫХ АДКЛАДАЎ КАЛЯ Г. БЫХАВА МАГІЛЁўСКОЙ ВОБЛАСЦІ І ПАЛЕАГЕАГРАФІЧНЫЯ РЭКАНСТРУКЦЫІ ПА ПАЛІНАЛАГІЧНЫХ ДАДЗЕННЫХ

Т. Б. Рылова

Інстытут прыродакарыстання НАН Беларусі
вул. Ф. Скарыны, 10, 220076, Мінск, Беларусь
E-mail: rylova_tatyana18@mail.ru

Прадстаўлены вынікі паліналагічных даследаванняў старажытнаазёрных адкладаў, выкрытых свідравінамі 69.1 і 69.2 каля г. Быхава Магілёўскай вобласці. Дана дэталёвая характарыстыка вылучаных у разрэзах лакальных пылковых зон і абгрунтаваны ўзрост вывучаных адкладаў. Згодна з атрыманымі данымі, іх фарміраванне адбывалася на працягу большай часткі муравінскага міжледавікоўя, а таксама ў наступны паазёрскі час. Рэканструяваны фазы развіцця расліннасці, якая існавала на працягу разгледжанага інтэрвалу плейстаэну Беларусі.

Ключавыя словы: паліналагічны аналіз, палінастратыграфія, муравінскі гарызонт, плейстацэн, расліннасць, Беларусь.

SUBSTANTIATION OF THE AGE OF PLEISTOCENE DEPOSITS NEAR THE TOWN OF BYKHOV, MOGILEV REGION AND PALEOGEOGRAPHIC RECONSTRUCTIONS ON THE BASE OF PALYNOLOGICAL DATA

T. Rylova

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus
10 F. Skaryna St, 220076, Minsk, Belarus
E-mail: rylova_tatyana18@mail.ru

The results of palynological studies of ancient lacustrine sediments uncovered by boreholes 69.1 and 69.2 near the town of Bykhov in Mogilev region are presented. A detailed description of the local pollen zones identified in the sections is given. Based on this the age of the studied deposits is substantiated. According to the data obtained, their formation occurred during most of the Muravian interglacial and in the subsequent Poozerian time. The phases of vegetation development existed during the considered interval of Pleistocene of Belarus have been reconstructed.

Key words: palynological analysis, palinostratigraphy, Muravian horizon, Pleistocene, vegetation, Belarus.

УДК 624.131.4:624.131.251(476.2)

ЛЕССОИД В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

Е. Ю. Трацевская

Учреждение образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»
ул. Советская, 104, 246019, Гомель, Беларусь
E-mail: eltrats@mail.ru

Рассмотрено понятие «лессоид» в современной трактовке. Охарактеризованы гляциальные и флювиогляциальные отложения как материнские породы, из которых сформировались лессоиды юго-востока Беларуси, определено время формирования этих образований как средний плейстоцен-голоцен. Описаны: распространение, зонально-геологические факторы формирования и роль морозного и химического выветривания в превращении гляциальных и флювиогляциальных отложений в лессоид. Определены и обобщены показатели физико-химических, физических и физико-механических свойств лессоидов, приведено сравнение их значений с аналогичными значениями материнских пород. Установлено, что плотность, коллоидная активность, коэффициенты естественной уплотненности и переуплотнения, а также степень сжатия грунта, показатели физико-механических свойств лессоидов снижены по сравнению с материнскими породами. Соответственно, численные значения относительной влажности, коэффициента пористости, характерных влажностей повышены. Рассмотрена роль основной гидрофизической характеристики и ее гистерезиса в формировании просадочности лессоидов. Описаны геологические опасности, связанные с лессоидами.

Ключевые слова: лессоид, грунты, морена, флювиогляциал, геологические опасности, основная гидрофизическая характеристика.

ВВЕДЕНИЕ

Лессоид является одним из факторов геологического риска природно-техногенных комплексов Беларуси. Эти отложения отличаются своеобразием и обладают целым рядом инженерно-геологических особенностей, которые необходимо учитывать при их использовании в градостроительстве, сельском хозяйстве и других сферах экономики.

В грунтоведении при классификации дисперсных связанных минеральных грунтов выделяются специфические образования – пылеватые грунты – континентальные породы перигляциальных и внеледниковых зон, содержащие более 50 % частиц размером 0,05–0,005 мм (пылеватая фракция в грунтоведении), обладающие высокой пористостью и присутствием макропор. [4] По генезису они могут быть: эоловые, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные и смешанные. Для многих из них свойственна сингенетическая или эпигенетическая просадочность, т.е. выделяют лессы и лессовидные грунты (последние, в отличие от лессовых, непросадочные). Для пылеватых грунтов характерно покровное залегание [4].

В нормативных документах пылеватые породы отсутствуют в принципе (ГОСТ 25100-2020, СТБ 943-2007). Следует отметить, что в СТБ 943-2007 дано определение грунта лессовидного – «пылевато-

глинистый грунт, в гранулометрическом составе которого более 50 % пылеватых (0,05–0,005 мм) частиц, бескарбонатный или известковистый; преимущественно низкопористый ($e \leq 0,8$), слоистый и непросадочный; встречаются прослойки песка, гравия, включения галек, раковин моллюсков, иногда погребенные почвенные горизонты; легко размокает и размывается».

На карте четвертичных отложений Беларуси (1971, ред. Г. И. Горецкий) среди пород других фациально-генетических комплексов выделены «лессовидные и лессовые образования проблематического происхождения» (обозначены индексом *pr*). Кроме того, в инженерно-геологической литературе иногда выделяются покровные отложения, которые в отдельных случаях рассматриваются как грунты самостоятельного фациально-генетического комплекса. Термин «покров» применяется для обозначения поверхностных образований, занимающих большую площадь и имеющих относительно незначительную мощность (покров моренный, осадочный, флювиогляциальный и т.п.) [7]. Таким образом, покровные отложения – это форма залегания, а не условия образования, т.е. такие отложения не должны рассматриваться как геолого-генетический комплекс.

И наконец, в СТБ 17.04.02-2013 лессовидные отложения (лессоид) (с обозначением *pr* –?) выделены как один из основных генетических типов четвертичных

отложений. При этом содержание термина «лессоид» в инженерно-геологической научной и нормативной литературе Беларуси не определено и не охарактеризовано.

История лессоведения началась более 200 лет назад (Леонхард К. фон, 1823–1824; Лайель Ч., 1834). За это время было предложено множество терминов, обозначающих специфические отложения: лесс; лессовые, лессовидные, лессоподобные породы; лесситы, лессоиды, типичные и преобразованные лессы, облессованные отложения и т.д. (всего более 60 (!) синонимов термина «лессовый», «лесс») [1]. Причем некоторые из них являются полными или, что еще более запутывает ситуацию, частичными синонимами. В сфере науки система терминов носит рекомендательный характер. Что же касается производства, то кодификация должна принимать жесткий характер в форме стандартизации. Причем если в СТБ 943–2007 было дано определение грунту лессовидному, то в ГОСТ 25100-2020 ни одно из понятий лессоведения не определено вообще.

В практике картирования, например, Российской геологической службы, ко всем алевритистым отложениям *субаэральная* формации разных мощностей и состава – от типичных известковистых лессов Южной России до льдистых алевритов арктической Сибири – применяется один термин «лессоид» (обозначается заглавной латинской буквой L). Этот термин заимствован у аргентинских геологов, которые много десятилетий использовали его для обозначения всех лессовидных пород независимо от их происхождения [2].

В таком понимании лессоид юго-востока Беларуси рассмотрен в данной статье.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ

В специальной литературе приводятся разнообразные описания распространения пород, подходящих под понятие «лессоид». Например, в Инженерной геологии СССР [12] указывается, что территория юго-восточной части Беларуси, как и всей республики, относится «к северной провинции распространения покровных и лессовых отложений Русской плиты в пределах развития днепровского и частично сожского оледенений».

Покровные отложения широко распространены в центральной и южной Беларуси за пределами южной границы сожской стадии припятского оледенения, где они почти сплошным чехлом покрывают конечно-моренные образования (*gIIIdn*) северо-восточного склона Мозырской гряды, флювиогляциальные отложения (*fIIIdns*) Хойникско-Брагинской возвышенности и другие водораздельные участки и их склоны. На отдельных площадях

покровные образования могут приобретать лессовидный облик, локально – проявлять просадочные свойства.

В. М. Мотуз выделил шесть основных массивов распространения лессовых пород на территории Беларуси, в том числе «массив лессовидных отложений юго-восточной части БССР» [15].

В Стратиграфических схемах докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси к таким отложениям отнесены перигляциальные лоевские (*IIIsz*) (мощностью до 3 м) и ловатские (*IIIlv*) (мощностью до 1 м), а также лессовидные двинские (*IIIdv*) (мощностью до 10 м) слои [17]. Генезис этих отложений не определен.

Таким образом, согласно определению лессоидов и принимая во внимание, что все эпигенетические грунты лессовидные [2; 4], можно сделать следующие выводы:

1. На рассматриваемой территории первичным материалом, из которого образовались лессоиды, служили гляциальные и флювиогляциальные отложения.

2. Лессоиды маломощным прерывистым покровом перекрывают: во-первых, моренные супеси и суглинки днепровского горизонта; во-вторых, преимущественно песчаные отложения днепровско-сожского флювиогляциала. Следовательно, время формирования лессоидов – средний плейстоцен-голоцен (*prIIpr-IVsd*) (логичнее – *LIpr-IVsd*).

Мощность отложений невелика – от долей до 1,5–2,0 м; иногда 6–8 м; в основании склонов мощность элювиально-делювиальных отложений может возрасти до 10–15 м [12].

ЗОНАЛЬНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕССОИДОВ

Вторичное преобразование песчано-глинистых гляциальных и флювиогляциальных отложений в лессоиды современного облика происходило при континентальном регрессивном гипергенезе (по А. Е. Ферсману) при участии эоловых, делювиальных и других процессов. В общем цикле литогенеза стадия гипергенеза парадоксальна («зона геохимического противоречия» (Л. В. Пустовалов, 1933) [7]. Она предшествует всем последующим стадиям литогенеза, участвуя в прогрессивной направленности его, и в то же время дает начало регрессивному процессу, ведущему к деструктивным явлениям [16].

В Беларуси эпигенетические отложения накапливались в перигляциальной и внеледниковой обстановках среднего плейстоцена-голоцена при смене следующих природных зон: арктическая → тундра → лесотундра → тайга → смешанные леса → широколиственные леса → смешанные леса → тайга → лесотундра тундра → арктическая [11].

В межледниковья максимальные температуры воздуха в регионе превышали современные на 1,5–4,0 °С, т.е. могли достигать +42 °С, климат был теплый, умеренно-континентальный, с мягкой зимой и жарким летом. Минимальные температуры в течение ледниковий снижались относительно минимальных современных на 13–16 °С и достигали –47,7 °С, климат отличался значительной суровостью с отрицательным балансом тепла. Количество атмосферных осадков в межледниковые эпохи увеличивалось от 50 мм/год в период похолоданий до 150, временами 350 мм/год; во время оледенений составлял в общем менее 500–600 мм/год [11].

Ведущую роль в формировании современного облика элювиальных образований сыграли в основном перигляциальные условия, соответствующие континентальному тундровому климату. Морозное выветривание проявлялось, прежде всего, в изменениях степени дисперсности пород. Поверхностные отложения – гляциальные, флювиогляциальные; эоловые, образованные стоковыми ветрами, и другие попадали в сферу воздействия морозных процессов и почвообразования. При этом происходило раздробление частиц, которому способствовали низкие температуры, а еще в большей степени – частые переходы температуры через ноль. Химическое выветривание в этих условиях развивалось слабо и ограничивалось несколькими летними месяцами. Протекали лишь процессы гидратации и выщелачивания алюмосиликатов, и происходило формирование небольшой мощности зон дезинтеграции и дегидратации, представленных в основном минералами группы гидрослюдов, в меньшей степени – каолинита и свободных гидроокислов железа и алюминия. Сильные постоянно дующие ветры способствовали выдуванию, переносу и переотложению тонкого материала, особенно в зимнее время года, когда он переносится вместе со снегом.

Суточные колебания температуры проявляются до глубины 15–20 см, сезонные – проникают значительно глубже до 1,0–3,0 м; однако значительной амплитуды они достигают в приповерхностной зоне [24]. Поэтому за счет морозного выветривания развитие сколько-нибудь мощного разрыхленного элювиального покрова невозможно.

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСАДОЧНОСТИ

Просадочные лессоиды в юго-восточной части Беларуси распространены в основном в пределах Мозырской гряды. Супеси относятся к малопросадочным (относительная деформация просадочности $\varepsilon_{sl} = 0,0124$), начальное просадочное давление $P_{пр} = 2,23 \times 10^5$ Па.

Большую роль в формировании просадочности лессоидов играет его микроструктура. К настоящей

му времени установлено, что структурными элементами лессовых пород являются концентрические глобулярные агрегаты. Ядро такого агрегата представляет собой зерно первичного кварца (реже – полевого шпата), окруженного кальцитовыми оболочкой, покрытой тонкой «рубашкой» сложного состава, в котором преобладают глинистые минералы [10].

Одной из десятков групп гипотез генезиса лессов являются гипотезы ледникового происхождения (Лайель, 1834; Кропоткин, 1876; Докучаев, 1892 и др.). Лесс является отложением «ледниковой мути», вынесенной талыми водами ледника, которая содержит в том числе и минеральные коллоиды: каолинит, монтмориллонит, галлуазит, гидрослюды, иллит, вермикулит и др., а также коллоидные формы кремнезема и полутонные оксиды и т.п. При коагуляции коллоидов происходит либо укрупнение частиц (агрегация), либо их физическая адсорбция на поверхности более крупных частиц. При этом, как известно, с увеличением температуры до 30 °С возрастает скорость коагуляции и уменьшается продолжительность инкубационного периода.

Энергию связи воды с поверхностью минеральной частицы характеризуют термодинамические показатели, которые позволяют оценить ее состояние и подвижность в грунте. Одним из таких показателей является высота всасывания (потенциал влаги) (ψ) [9; 10]. Зависимость водоудерживающих сил от естественной влажности грунта является основной гидрофизической характеристикой породы (ОГХ). ОГХ находится в тесной связи с минеральным составом и связанной с ним дисперсностью (удельной поверхностью) грунта. При одинаковой весовой влажности большим по абсолютной величине отрицательным давлением обладают более дисперсные грунты. При переходе от каолиновых к гидрослюдистым глинам потенциал влаги увеличивается, достигая максимальных значений у смектитов [10].

Для ОГХ характерен гистерезис – различие равновесных кривых высушивания и увлажнения, т.е. при одном и том же значении влажности потенциал влаги ψ при увлажнении будет меньше, чем при высушивании грунта. Ширина петли гистерезиса (степень гистерезиса) увеличивается при уменьшении плотности пород [9; 25].

Следует заметить, что при процессах адсорбции/десорбции воды в грунтах также наблюдается гистерезис («гистерезис адсорбции») [10]. При определенных температуре и относительном давлении паров воды p/p_s для одного и того же грунта влажность при адсорбции меньше, чем при десорбции.

Наличие электрического заряда на поверхности частиц дисперсных грунтов и градиент концентрации

противоіонов, компенсуючых паверхностны зарад в пределах двойного электрического слоя (ДЭС), определяют в грунтах такие явления, как адсорбция, ионный обмен, структурообразование, взаимная коагуляция частиц и их агрегативная устойчивость [10].

О формировании просадочных свойств лесовидных отложений в семиаридных и аридных климатических условиях при недостатке воды для нормального уплотнения породы писали многие ученые (например, П. А. Тутковский [23], 1899; Н. И. Кригер, 1980 [13] и др.).

В перигляциальных условиях в результате морозного выветривания происходит в основном увеличение содержания алевритовых частиц при уменьшении псаммитовых. А при повышении температуры в периоды перехода к межледниковьям и в межледниковые активизируется процесс коагуляции коллоидов, формирование агрегатов и глинистых «рубашек» на алевритовых и, возможно, песчаных частицах. При этом давление влаги в грунтах достигает своего максимума, происходит перестройка ДЭС, коллоидные частицы прочно удерживаются на поверхности алевритов или псаммитов. Для начала процесса разрушения структуры в сформированных агрегатах или «рубашках» необходимо, чтобы количество влаги в грунте превысило те ее значения, при которых сформировались агрегаты. Поэтому даже при естественной влажности $W = 15 \div 20 \%$ просадочные свойства грунтов сохраняются.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Лессоиды обычно представлены безвалунными песками пылеватыми, супесями песчанистыми или пылеватыми, суглинками легкими и тяжелыми пылеватыми, реже – песчанистыми светло- и буровато-коричневыми, палево-желтыми; как правило, непросадочными, однако на отдельных участках может проявляться просадочность [5; 6; 19; 21; 22].

Минеральный состав лессоидов тесно связан с составом материнских пород и поэтому довольно разнообразен. В лессоидах породообразующими являются кварц, полевые шпаты, глинистые (гидрослюда, каолинит, галлуазит, монтмориллонит) минералы и в меньшей степени – карбонаты (кальцит) [1; 15].

Гранулометрический состав. В гранулометрическом составе лессоидов как супесей, так и суглинков преобладают частицы пылеватой фракции – 38,4–68,4 % до 70–80 %, содержание глинистой фракции колеблется от 6 до 23 %. Следует отме-

тить увеличение доли пылеватых частиц лессоидов по сравнению с материнскими породами – супесями и суглинками днепровской морены и днепровско-сожского флювиогляциала (табл. 1, 2). Это хорошо объясняется теорией континентального гипергенеза в перигляциальных условиях. Соответственно, уменьшение содержания частиц глинистой фракции в лессоидах более четко по сравнению с супесями выражено у суглинков, что связано, очевидно, с содержанием этих частиц в материнской породе (до 34 %) (табл. 1, 2).

Влажность. Лессоиды чаще всего относятся к подзоне транзита зоны аэрации, которая характеризуется относительно постоянной влажностью $W = 0,20 \div 0,28$ [6]. Тем не менее в засушливое время или во время паводков ее значения могут достигать экстремальных значений (табл. 3–5). Степень влажности S_r изменяется соответственно от 0,11 до 1,00.

Физические свойства. Плотность лессоидов р снижена по сравнению с материнскими породами, что характерно для выветрелых пород. Значения колеблются в пределах 1,66–1,91 г/см³ для песка пылеватого, для супесей – от 1,68 до 2,12; для суглинков от 1,66 до 1,99 г/см³. В соответствии с плотностью лессоида находится и его пористость.

Отдельно следует рассмотреть тот случай, когда лессоид залегает на отложениях днепровской морены. Для нее (морены) характерны разрезы из двух зон – верхней и нижней. Происхождение поверхностных моренных горизонтов остается дискуссионной темой. По некоторым данным (И. А. Бусел, 1989 и др.) [3] они представляют собой абляционные разности, по другим (В. Г. Лободенко, 1979 и др.) [14] – формирование верхней зоны связано главным образом с процессами гипергенеза. Так или иначе, переход от одной зоны к другой выражается уменьшением вверх по разрезу глинистости, повышением содержания песчаных прослоев и линз, уменьшением плотности и прочности морен. С глубиной увеличиваются естественная влажность, граница текучести, сопротивление одноосному сжатию, модуль деформации и содержание глинистых частиц. Ярким примером служит изменение значений коэффициента пористости для нижней (ен) и верхней зоны (ев): $ен = 0,25 \div 0,45$; $ев = 0,47 \div 0,69$.

То есть лессоид формируется на отложениях верхней зоны днепровской морены, значения показателей физико-механических свойств которой приведены в таблицах 3–5. Коэффициент пористости у лессоидов, сформированных на рассматриваемых породах, увеличивается по сравнению с ней в среднем в 1,5 раза.

Таблица 1 – Гранулометрический состав супеси непросадочной

gldn			prIII-IV						fldn-sz		prIII-IV						
Диаметр частиц, мм в %																	
> 0,05	0,05–0,005	< 0,005	> 0,05	0,05–0,005	< 0,005	> 0,05	0,05–0,005	< 0,005	> 0,05	0,05–0,005	< 0,005						
песчанистая			пылеватая			песчанистая			пылеватая (песчанистая)								
72,1–90,3	3,76–10,0	5,6–13,2	31,9	57,7	10,4	61,0	12,0–28,0	8,0–9,9	27,1	66,9	6,0	50,4–87,2	9,07–41,2	3,63–8,7	25,1–30,3	38,4–67,7	5,6–12,0
															до 71,0		

Таблица 4 – Показатели физико-механических свойств супесей

Свойства грунтов	<i>gldn</i>		<i>prIII-IV</i>		<i>fldn-sz</i>	<i>prIII-IV</i>
	песчанистая/пылеватая		просадочная		песчанистая	песчанистая/пылеватая
	непросадочная		просадочная		непросадочная	
Естественная влажность, W , доли ед.	0,06–0,13	0,12–0,23	0,13	0,05–0,16	0,03–0,19	
Плотность, ρ , г/см ³	2,07–2,25	1,68–2,12	1,72	1,83–1,93	1,68–1,97	
Степень влажности, S_r , доли ед.	0,36–1,00	0,44–0,87	0,45	0,23–0,88	0,64–0,85	
Относительная влажность, $W_{отн.}$, доли ед.	0,14–0,26	0,54–0,82	0,62	0,30–0,95	0,13–1,36	
Коэффициент пористости, e , доли ед.	0,30–0,47	0,51–1,00	0,74–0,80	0,48–0,58	0,62–1,00	
Влажность границы текучести, WL , %	0,14–0,18	0,20–0,30	0,19–0,26	16,93	0,14–0,24	
Влажность границы раскатывания, W_p , %	0,10–0,13	0,17–0,25	0,17	0,14	0,10–19,0	
Число пластичности, I_p , %	0,04–0,06	0,02–0,05	0,04	0,05–0,06	0,03–0,07	
Показатель гидрофильности, K , доли ед.	0,40–2,17	2,79	–	1,94–4,66	2,05–3,59	
Коллоидная активность, K_p , доли ед.	0,33–2,75	0,40	–	0,53–1,27	0,23–0,82	
Коэффициент естественной уплотненности, K_p , доли ед.	0,56–1,11	(–3,40)–0,42	–1,91	1,05	(–2,5)–(–0,05)	
Коэффициент переуплотнения K_p , доли ед.	1,14–1,34	0,58–1,09	0,73	0,85	0,67–0,99	
Степень сжатия грунта, K_s , доли ед.	0,04–0,08	(–0,23)–(–0,11)	–0,13	0,06	(–0,20)–(–0,18)	
Модуль деформации, E , МПа	31,0–70,0	2,0–17,8	18,06/13,3*	32	16,02–36,26	
Удельное сцепление, C , МПа	0,033–0,053	0,018–0,028	0,030	–	0,014–0,028	
Угол внутреннего трения, ϕ , град.	27–28	11–28	27	–	23–28	
Примечание: *отмечен модуль деформации просадочных лессовидов после их замачивания водой						

Таблица 5 – Показатели физико-механических свойств суглинков

Свойства грунтов	тяжелый		легкий		$f_{l\Delta n-sz}$	pr_{III-IV}
	$g_{l\Delta n}$	pr_{III-IV}	$g_{l\Delta n}$	pr_{III-IV}		
Естественная влажность, W , доли ед.	0,19–0,22	0,24	0,12–0,28	0,24–0,28	0,23	0,14–0,18
Плотность, ρ , г/см ³	2,02–2,09	1,96	1,98–2,20	1,96–1,99	1,94	1,66–1,72
Степень влажности, S_r , доли ед.	0,93–0,94	0,91	0,73–1,00	0,91–1,00	0,86	0,50
Относительная влажность, $W_{отн}$, доли ед.	0,62	0,71	0,53	1,18	0,77	0,53
Коэффициент пористости, e , доли ед.	0,47–0,56	0,72	0,38–0,58	0,72–0,73	0,71	0,84–0,86
Влажность границы текучести, WL , %	0,33–0,34	0,34	0,20–0,28	0,29–0,34	0,22–0,38	0,29–0,31
Влажность границы раскатывания, W_p , %	0,17–0,19	0,21	0,10–0,20	0,19–0,20	0,13–0,20	0,22–0,23
Число пластичности, I_p , %	0,15	0,123	0,07–0,12	0,10–0,11	0,11	0,07–0,08
Показатель гидрофильности, K , доли ед.	–	–	–	–	0,009–0,025 (0,014)	0,042
Коллоидная активность, K_p , доли ед.	–	–	–	–	0,0004–0,110 (0,066)	0,011
Коэффициент естественной уплотненности, K_d , доли ед.	0,98	–0,2	0,92	–2,8	0,31	–1,71
Коэффициент переуплотнения K_p , доли ед.	1,79	0,93	1,35	0,82	1,16	0,72
Степень сжатия грунта, K_s , доли ед.	0,21	–0,16	0,13	–0,08	0,06	–0,15
Модуль деформации, E , МПа	–	7,3	–	–	–	7,8–10,4

Характерные влажности. Минеральный состав глинистых фракций супесей и суглинков обуславливает сравнительно низкие значения влажности на границе текучести WL и раскатывания WP (табл. 4–5) [18; 20]. Но во всех случаях отмечается увеличение значений характерных влажностей при переходе от материнских пород к лессоидам.

Возможно, это связано с увеличением доли пылеватых частиц по сравнению с песчаными, а также с тем, что в процессе выветривания дальнейшее изменение частиц гидрослюд направлено в сторону образования монтмориллонита [1].

Показатель коллоидной активности K_p имеет общую направленность к снижению от материнских отложений к лессоидам (см. табл. 4–5), т.к. потенциал коагуляционного структурообразования в процессе гипергенеза уменьшается. Супеси и суглинки материнских пород относятся к низко- и среднеактивным ($K_p \leq 1,25$), а лессоиды в основном – к низкоактивным ($K_p \leq 0,75$).

Гидрофильность глинистых минералов, как известно, определяется удельной поверхностью и зависит от их состава и структуры [10]. Изменение гранулометрического и минерального состава грунтов при гипергенезе происходит разнонаправленно, поэтому изменения показателя гидрофильности (K) носят незакономерный характер. В общем, для изучаемых грунтов, как это показано в таблицах 4–5, показатель гидрофильности меняется в широком диапазоне ($K > 2$), поэтому они изменяются от низкогидрофильных до высокогидрофильных.

По относительной влажности ($W_{отн}$) судят об дегидратированности грунтов: чем $W_{отн}$ меньше, тем более дегидратирован грунт и более устойчива его консистенция. Из данных, приведенных в табли-

цах 3–4, следует, что моренные супеси и суглинки дегидратированы в большей степени, чем лессоиды. Для флювиогляциальных отложений зависимость не такая четкая и, скорее, обратная по сравнению с моренными грунтами.

Уплотненность. Соответственно значениям коэффициентов естественной уплотненности по В. А. Приклонскому (K_d), переуплотнения (K_0), а также степени сжатия грунта (K_c) (табл. 4–5), супеси и суглинки ледниковые и флювиогляциальные находятся в уплотненном или переуплотненном состоянии, а лессоиды – в недоуплотненном (регрессивный литогенез).

Механические свойства. Для лессоидов установлена значительная неоднородность механических свойств и большой разброс значений их показателей, которые тесно связаны с влажностью и структурными особенностями. Отчетливо прослеживается снижение показателей деформационных и прочностных свойств от материнских пород к лессоидам (см. табл. 3–4).

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ

Геологические опасности связаны с повышенной пылеватостью лессоидов. Эти отложения характеризуются водонеустойчивостью, легкой и быстрой размываемостью (допустимой размывающей скоростью потока) – 0,65–0,75 м/с; размокаемостью, просадочностью и тиксотропностью (см. рис.). С лессоидами связано широкое развитие опасных процессов: суффозии, образования провальных воронок, формирования оврагов, быстрого разрушения берегов рек, озер и водохранилищ, поверхностного смыва многочисленных оползней-сплывов, солифлюкционных подвижек и др. При значительном увлажнении наблюдается морозное пучение.



Рисунок – Формирование эрозионных форм в легкоразмываемых песках пылеватых (г. Лоев, правый берег р. Днепр, июнь 2006 г.)

Кроме того, частое развитие на флювиогляциальных песках покровных слабопроницаемых суглинков и супесей приводит к формированию в этих отложениях верховодки, что также создает некоторые трудности в освоении.

Такие особенности необходимо учитывать при проектировании различных сооружений имеющих небольшой объем подземной части, в первую очередь – инженерных коммуникаций, местных автомобильных дорог, а также при исследовании деформирования элементов конструкций, контактирующих с грунтами [8; 26; 27].

ВЫВОДЫ

1. В системе стандартизации Республики Беларусь необходимо определить термин «лессоид» и дать его характеристику как одного из генетических типов отложений. Следует прояснить положение лессоидов в ГОСТ 25100-2020 и СТБ 943-2007 и, соответственно, определить их классификационные признаки.

2. На рассматриваемой территории первичным материалом, из которого образовались лессоиды, служили гляциальные и флювиогляциальные отложения.

Время формирования лессоидов – средний плейстоцен-голоцен.

3. Определены и обобщены основные численные значения показателей физико-химических, физических и физико-механических свойств лессоидов. Установлено, что плотность, коллоидная активность, коэффициенты естественной уплотненности и переуплотнения, а также степень сжатия грунта, показатели физико-механических свойств (модуль деформации, удельное сцепление) лессоидов снижены по сравнению с материнскими породами. Соответственно, численные значения относительной влажности, коэффициента пористости, характерных влажностей повышены. Такие зависимости, в общем, характерны для пород находящихся на стадии регрессивного литогенеза.

4. В формировании просадочных свойств лессоидов определенную роль играет гистерезис основной гидрофизической характеристики. Поэтому для начала процесса разрушения структуры в сформированных пылевого-глинистых агрегатах, или «рубашках», необходимо, чтобы количество влаги в грунте превысило те ее значения, при которых сформировались агрегаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ананьев, В. П.** Лессовый покров России / В. П. Ананьев. – М. : ИД «Юриспруденция», 2012. – 112 с.
2. **Астахов, В. И.** Лессоиды Российской Федерации: распространение и возраст / В. И. Астахов, Л. Е. Пестова, В. К. Шкатова // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 87. – С. 42–60.
3. **Бусел, И. А.** Прогнозирование строительных свойств грунтов / И. А. Бусел. – Минск : Наука и техника, 1989. – 246 с.
4. **Вознесенский, Е. А.** Грунтоведение / Е. А. Вознесенский // Лекции ученых МГУ. – 122 с.
5. **Галкин, А. Н.** Инженерно-геологическое районирование Гомеля / А. Н. Галкин, Е. Ю. Трацевская, И. А. Красовская, А. И. Павловский // Літасфера. – 2004. – № 2 (21). – С. 108–116.
6. **Галкин, А. Н.** Роль современных геологических процессов в формировании инженерно-геологических условий территории Гомеля / А. Н. Галкин, Е. Ю. Трацевская, А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, Н. А. Шишонок // Літасфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 67–73.
7. **Геологический словарь.** Т. 2 // гл. ред. К. Н. Паффенгольц. – М. : Недра, 1978. – 456 с.
8. **Горшков, А. Г.** Механика слоистых вязкоупругопластических элементов конструкций / А. Г. Горшков, Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
9. **Гриневский, С. О.** Гидрогеология / С. О. Гриневский // Лекции ученых МГУ. – 140 с.
10. **Грунтоведение** / под ред. В. Т. Трофимова [и др.]. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2005. – 1023 с.
11. **Еловичева, Я. К.** Климат геологического прошлого территории Беларуси и прогноз его изменения в будущем / Я. К. Еловичева // София. – 2017. – № 1. – С. 43–49.
12. **Инженерная геология СССР.** Т. 1. Русская платформа / под ред. И. С. Комарова. – М. : МГУ, 1978. – 528 с.
13. **Кригер, Н. И.** Причины цикличности процесса лессообразования / Н. И. Кригер // Труды Ин-та геологии и геофизики: цикличность формирования субаэральных пород. – Новосибирск : Наука, 1980. – С. 34–42.
14. **Лободенко, В. Г.** Типы толщ моренных грунтов как результат избирательного гипергенеза / В. Г. Лободенко, Г. Л. Кофф // Особенности формирования гидрогеологических и инженерно-геологических условий Белоруссии : сб. науч. тр. – 1979. – С. 158–165.
15. **Мотуз, В. М.** О происхождении лессовых пород на территории Белоруссии / В. М. Мотуз // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. – 1986 – № 55. – С. 52–61.

16. **Сергеева, Э. И.** Теория литогенеза : уч. пособие / Э. И. Сергеева. – С.-Петерб. ун-т, 2005. – 140 с.
17. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объясн. зап. / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010 – 282 с. + приложение из 15 стратиграфических схем.
18. **Трацевская, Е. Ю.** Динамическая неустойчивость квазитиксотропных моренных грунтов / Е. Ю. Трацевская // Літасфера. – 2017. – № 1 (46). – С. 107–112.
19. **Трацевская, Е. Ю.** Закономерности формирования геологических опасностей Беларуси / Е. Ю. Трацевская. – Гомель, 2008. – 121 с.
20. **Трацевская, Е. Ю.** Характеристики пластичности супесчаных неводонасыщенных грунтов юго-востока Беларуси / Е. Ю. Трацевская // Літасфера. – 2018. – № 1 (48). – С. 12–17.
21. **Трацевская, Е. Ю.** Особенности освоения техногенных грунтов г. Гомеля в современных условиях / Е. Ю. Трацевская, А. Н. Галкин // Многообразии грунтов: морфология, причины, следствия : труды Междунар. науч. конф. – М., 2003. – С. 123.
22. **Трацевская, Е. Ю.** Современное динамическое состояние геологической среды г. Гомеля и его влияние на инженерно-геологические условия / Е. Ю. Трацевская, О. К. Абрамович // Літасфера. – 2008. – № 2 (29). – С. 129–137.
23. **Тутковский, П. А.** К вопросу о способе образования лесса / П. А. Тутковский. – М. : Тип. А. И. Мамонтова, 1899. – 99 с.
24. **Шанцер, Е. В.** Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований / Е. В. Шанцер. – М. : Наука, 2010. – 236 с.
25. **Шейн, Е. В.** Гистерезис основной гидрофизической характеристики: моделирование ветви усложнения по кривой иссушения / Е. В. Шейн, А. И. Мадий // Вестн. Московск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 2018. – № 3. – С. 36–41.
26. **Pronina, P. F.** Study of the radiation situation in Moscow by investigating elastoplastic bodies in a neutron flux taking into account thermal effects / P. F. Pronina, O. V. Tushavina, E. I. Starovoitov // Periódico Tchê Química. – 2020. – Vol. 17. – № 35. – P. 753–764.
27. **Vakhneev, S.** Damping of circular composite viscoelastic plate vibration under neutron irradiation / S. Vakhneev, E. Starovoitov // Journal of Applied Engineering Science. – 2020. – № 18 (4). – P. 699–704.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 17.01.2024

Рэцэнзент А. І. Паўлоўскі

ЛЯСОІД У ІНЖЫНЕРНАЙ ГЕАЛОГІІ

А. Ю. Трацэўская

Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны
універсітэт імя Францыска Скарыны»,
вул. Савецкая, 104, 246019 Гомель, Беларусь
E-mail: eltrats@mail.ru

Разгледжана паняцце «лясоід» у сучаснай трактоўцы. Ахарактарызаваны ледавіковыя і флювіягляцыяльныя адклады як матчыны пароды, з якіх сфарміраваліся лясоіды паўднёвага ўсходу Беларусі. Вызначаны час фарміравання гэтых утварэнняў як канец дняпроўскай эпохі абляднення па нашы дні. Апісана распаўсюджванне, занальна-геалагічныя фактары фарміравання і роля марознага і хімічнага выветрывання ў ператварэнні ледніковых і водна-ледніковых адкладаў у лясоіды. Вызначаны і абагульнены паказчыкі фізіка-хімічных, фізічных і фізіка-механічных уласцівасцей лясоідаў, прыведзена параўнанне іх значэнняў з аналагічнымі значэннямі матчыных парод. Устаноўлена, што шчыльнасць, калоідная актыўнасць, каэфіцыенты натуральнай ўшчыльнення і пераўшчыльнення, а таксама ступень сціску грунту, паказчыкі фізіка-механічных уласцівасцей лясоідаў зніжаны ў параўнанні з матчынымі пародамі. Аднак, лікавыя значэнні адноснай вільготнасці, каэфіцыента сітаватасці, характэрнай вільготнасці павышаны. Разгледжана роля асноўнай гідрафізічнай характарыстыкі і яе гістарэзісу ў фарміраванні прасадачнасці лясоідаў. Апісаны геалагічны небяспекі, звязаныя з лясоідамі.

Ключавыя словы: лясоід, грунты, марэна, флювіягляцыял, геалагічныя небяспекі, асноўная гідрафізічная характарыстыка.

A LESSOID IN ENGINEERING GEOLOGY

E. Tratsevskaia

Educational institution "Francisk Skorina Gomel State University",
104 Sovetskaya St, 246019 Gomel, Belarus
E-mail: eltrats@mail.ru

The concept of a "lessoid" in a modern interpretation is considered. Glacial and fluvioglacial deposits are characterized as the parent rocks from which the loessoids of the southeast of Belarus were formed. The time of formation of these formations has been determined as the end of the Dnieper glaciation epoch to the present day. The following are described: distribution, zonal-geological factors of formation and the role of frost and chemical weathering in the transformation of glacial and water-glacial deposits into lessoids. The indicators of physical-chemical, physical and physical-mechanical properties of lessoids are determined and generalized, and their values are compared with similar values of parent rocks. It was found that density, colloidal activity, coefficients of natural compaction and over-compaction, as well as the degree of soil compression, indicators of physical and mechanical properties of lessoids are reduced compared with parent rocks. Accordingly, the numerical values of relative humidity, porosity coefficient, and characteristic humidity are increased. The role of the main hydrophysical characteristic and its hysteresis in the formation of the subsidence of lessoids is considered. The geological hazards associated with lessoids are described.

Keywords: lessoid, soils, moraine, fluvioglacial, geological hazards, basic hydrophysical characteristics.

УДК 622:624.131:551.4.042 (476.5)

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОТКОСАХ БОРТОВ КАРЬЕРА ГЛИН «ЛУКОМЛЬ-1» ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ И ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

А. Н. Галкин¹, А. Б. Торбенко¹, И. А. Красовская¹, А. И. Павловский²

¹Витебский государственный университет имени П. М. Машерова,
Московский просп., 33, 210038, Витебск, Беларусь
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Белорусский национальный технический университет,
просп. Независимости, 65, 220013, Минск, Беларусь
E-mail: aipavlovsky@mail.ru

Разработка месторождения глин «Лукомль-1» нередко сопровождается локальными оползнями и другими обрушениями, несмотря на предусмотренные проектом эксплуатации меры безопасности. Значительный ущерб нанесен оползнями, возникшими на отработанных откосах в северо-восточной и восточной частях карьера весной 2023 г. Оползневой деформацией подвергся участок склонов протяженностью свыше 700 м. В перемещение было вовлечено более 55 000 м³ грунта. Проведенные исследования, включающие анализ маркшейдерских данных, геологических материалов; изучение морфологии и строения (структуры) оползней; обводненности, физических и физико-механических свойств пород, слагающих оползневые склоны; сопутствующих геологических процессов и явлений определили факторы возникновения оползневых деформаций откосов в северо-восточной и восточной частях карьера глин. Основными среди них следует считать естественные факторы: аномальное выпадение в зимний период 2022/2023 г. атмосферных осадков, наличие в непосредственной близости от откосов карьера ряда заболоченных понижений и западин и квазиоднородное строение массива глинистых грунтов, обусловленное частым присутствием в глинистом массиве тонких алевритовых прожилок, а также прослоев и линз тонкозернистого песка. Даны рекомендации по предупреждению дальнейшего возникновения и развития оползней на откосах карьера.

Ключевые слова: озерно-ледниковые глины, карьер, природные условия, откосы, оползни, устойчивость склонов.

ВВЕДЕНИЕ

Месторождение глин «Лукомль-1» расположено в Чашникском районе Витебской области, разведано в 1968–1974 гг. Комплексной горно-геологической партией Министерства промстройматериалов БССР. Запасы глин месторождения утверждены Государственной комиссией по запасам полезных ископаемых СССР (протокол № 10361 от 24.02.1988) в качестве глинистой составляющей для производства портландцементов, кирпича глиняного, камней керамических пустотелых, керамзитового гравия и дренажных труб.

Добычные работы на месторождении осуществляются в двух карьерах – южном и северном. Первый из них разрабатывается ОАО «Минский завод строительных материалов» с 1994 г., второй – ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» с 1977 г. Современное положение карьеров данного месторождения характеризуется наличием участков, где возникли потери устойчивости карьерных откосов, сопровождаемые локальными оползневыми и другими деформациями. Согласно фондовым

материалам, впервые такие участки были выявлены при обследовании бортов карьера завода керамзитового гравия в 1978 и 1985–87 гг.

В карьере Минского завода строительных материалов первое значительное обрушение нерабочего борта карьера произошло 6 марта 1996 г. В ноябре 1997 г. оползневые деформации на участке уже рабочего борта карьера, протяженностью 110 м, повлекли за собой разрушение находящихся вблизи железнодорожных путей и смещение вглубь горной выработки на расстояние до 5 м семи железнодорожных платформ, груженных полезным ископаемым. При этом было отмечено, что в карьерах ежегодно можно было наблюдать менее значительные обрушения откосов. Было установлено, что происходят они в основном весной и осенью на участках бортов карьеров протяженностью 100–150 м и высотой 21–29 м, подверженных периодическому замерзанию/оттаиванию и сильному увлажнению.

Весной 2023 г. на отработанных откосах в северо-восточной и восточной частях карьера Новолукомльского завода керамзитового гравия вновь

произошли оползни. Оползневые деформации подвергся участок склонов, протяженностью свыше 700 м. В перемещение было вовлечено более 55 000 м³ грунта.

В рамках договора о выполнении научно-исследовательских работ, заключенного между заводом керамзитового гравия г. Новолукомля и Витебским госуниверситетом им. П. М. Машерова, авторским научным коллективом было проведено обследование участка деформации откосов не-рабочих северо-восточного и восточного бортов карьера с целью установления вероятных причин возникновения оползневых процессов инженерно-геологическими и дистанционными методами и выработки рекомендаций по предупреждению их дальнейшего развития.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Карьер ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» по разработке месторождения глин «Лукомль-1» располагается в 5 км восточнее от г. Новолукомля и 1,1 км западнее от д. Стражевичи

Чашникского района Витебской области в пределах Сенненской равнины [3], характеризующейся чередованием участков холмисто-моренного рельефа, озерно-ледниковых низин и флювиогляциальных равнин (рис. 1).

В геологическом строении месторождения на глубину разведки до 38,0 м принимают участие отложения четвертичной системы, представленные образованиями верхнего плейстоцена и голоцена. Среди них в соответствии со стратиграфической схемой четвертичных отложений Беларуси [19] выделяются:

- 1) моренные отложения поозерского горизонта верхнего плейстоцена (gQ_3pz);
- 2) озерно-ледниковые отложения надморенные поозерского горизонта верхнего плейстоцена ($lgQ_3pz_3^s$);
- 3) флювиогляциальные отложения надморенные поозерского горизонта верхнего плейстоцена ($fQ_3pz_3^s$);
- 4) аллювиальные отложения пойм судобльского горизонта голоцена (aQ_4sd);
- 5) болотные отложения судобльского горизонта голоцена (plQ_4sd).

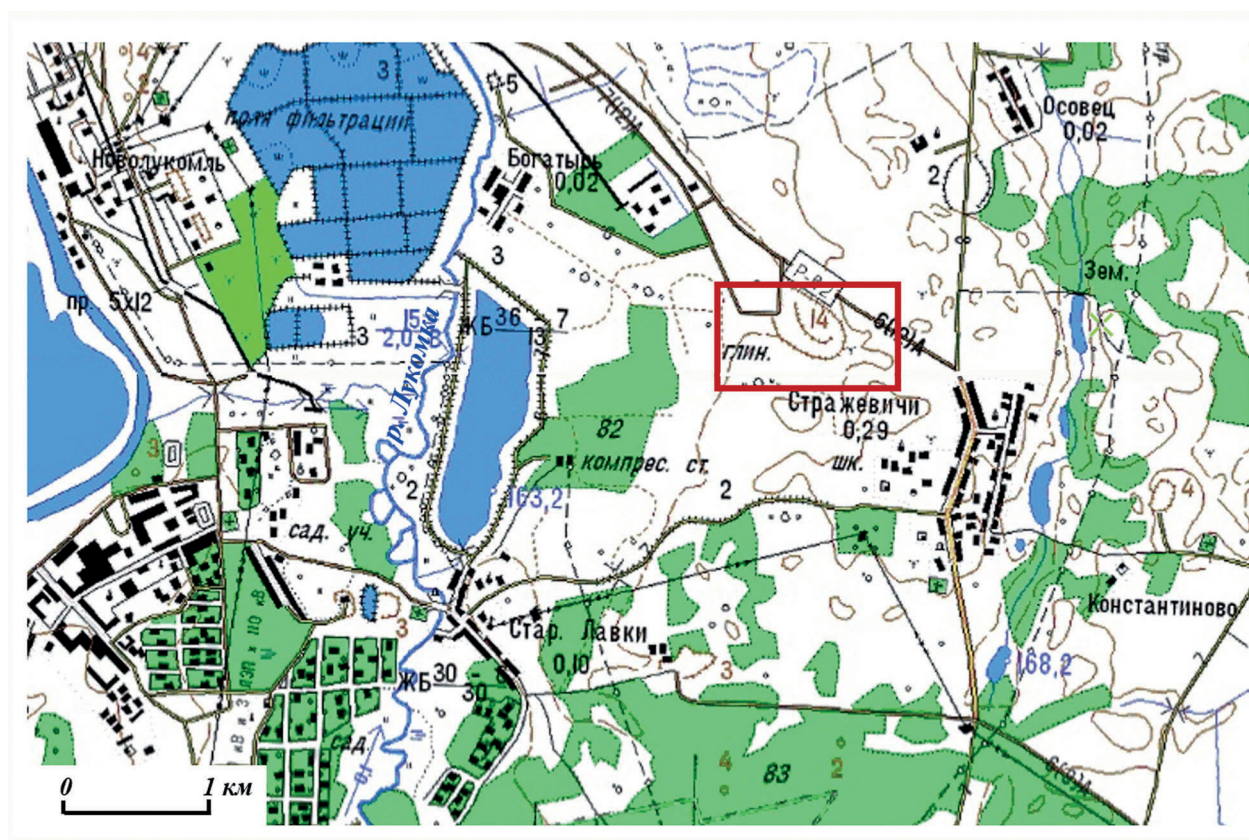


Рисунок 1 – Топографическая схема расположения карьера по разработке месторождения глин «Лукомль-1» (выделен красным прямоугольником)

Моренные отложения поозерского горизонта (gQ_3pz) рассматриваются как подстилающие продуктивную толщу озерно-ледниковых глин. Залегают они на различных глубинах – от 1,0 до 38,0 м и более, а в некоторых местах, в основном в районе оз. Лукомское, выходят на дневную поверхность. Вскрытая мощность их, по данным буровых работ Комплексной горно-геологической партии (1987), изменяется от 0,4 до 7,6 м. Представлены эти отложения супесями и суглинками красновато- и коричневатобурыми, иногда серыми, с содержанием гравия и гальки от единичных зерен до 15–20 %, реже песками, преимущественно тонкозернистыми.

Озерно-ледниковые отложения надморенные поозерского горизонта ($lgQ_3pz_3^s$), получившие широкое распространение на исследуемой территории, залегают преимущественно непосредственно под почвенно-растительным слоем, изредка перекрываясь на небольших участках современными озерно-болотными отложениями или поозерскими озерно-ледниковыми песками. Представлены они глинами, реже тонкослоистыми пылеватыми суглинками, супесями и разнотонкозернистыми песками. Общая их мощность варьирует в широких пределах – от десятков сантиметров (на границе контура разведанного месторождения) до 37,4 м (на западной окраине д. Стражевичи).

Среди *озерно-ледниковых глин* четко различаются две разновидности: красно-бурая и темно-коричневая.

Красно-бурая глина залегает в верхней части грунтовой толщи, занимая в основном северо-западную и северную части площади месторождения, выклиниваясь в центральной. Ее мощность невыдержанная и достигает 13,4 м при средней величине 2,0 м. По многим скважинам эта разновидность глин отсутствует. При этом непосредственно в карьере ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» (восточный борт) ее мощность изменяется от 0,8 до 2,8 м.

Толща красно-бурой глины неоднородна. В ней, начиная от кровли, часто можно встретить вертикально залегающие прослойки алевроита темно-серого и зеленоватого цвета. Контакт с темно-коричневой глиной нечеткий, постепенный.

Темно-коричневая глина также не выдержана по мощности. Ее мощность изменяется от 0,6 до 28,9 м при среднем значении 20,3 м. В карьере завода керамзитового гравия она вскрыта на глубину 18,0 м. По строению также неоднородна. Как и в массиве красно-бурой глины, здесь часты тонкие прожилки темно-серого алевроита (рис. 2а). Встречаются прослои и линзы серовато-желтого тонкозернистого песка мощностью 0,1–1,2 м, нередко обводненного (рис. 2б).

Физические и физико-механические свойства глин варьируют в широких пределах. Естественная влажность их изменяется от 23 до 38 %, плотность грунта в естественных условиях – от 1,85 до 2,00 г/см³, плотность скелета грунта – 1,37–1,63 г/см³, пористость – от 37 до 47 %, коэффициент пористости – от 0,59 до 0,94, число пластичности 17–36; влажность при набухании – 22,7–50,3 %; набухание – 0,3–11,7 %; коэффициент сжимаемости – 0,0024–0,1156 см²/кг; сцепление – 0,37–1,34 кг/см²; угол внутреннего трения – 7–20 град.; коэффициент внутреннего трения – 0,12–0,344.

Глины месторождения «Лукомль-1» средние и высокодисперсные, обладают хорошей пластичностью. По данным геологоразведочных работ, проведенных Комплексной горно-геологической партией в 1985–1987 гг., содержание фракций менее 0,01 мм в них составляет 54,4–96,2 %, в том числе на частицы менее 0,001 мм приходится 32,6–69,3 %. Крупнозернистых включений (фракции более 0,5 мм) в глинах содержится от 0,01 до 8,7 %, в том числе карбонатного материала – от «следов» до 5,1 %.

Химический состав глин относительно выдержанный. Количество SiO₂ в пробах изменяется в интервале 43,7–61,0 %; Al₂O₃ – 12,1–21,3 %; Fe₂O₃ – 4,7–9,6 %; TiO₂ – от «следов» до 1,5 %; CaO – 3,6–10,3 %; MgO – 1,4–3,9 %; K₂O + Na₂O – 3,6–5,2 %; SO₃ – от «следов» до 0,4 %; P₂O₅ – 0,12–0,30 %; потери при прокаливании – 7,7–11,6 %. В их минеральном составе присутствуют гидрослюда и каолинит со следами кальцита, полевого шпата и кварца.

Озерно-ледниковые супесчано-суглинистые породы на исследуемой территории, согласно фоновым материалам, имеют фрагментарное распространение и вскрыты на различных гипсометрических уровнях. Чаще всего они залегают в верхней части разреза, где фациально замещают красно-бурые (супеси и суглинки) или темно-коричневые (суглинки) глины. Значительно реже суглинки и супеси залегают под толщей глин, в зоне перехода последних к подстилающим пескам и редко встречаются в виде линз и прослоев внутри глинистой толщи, а также в виде линз внутри песчаных прослоев. Суглинки и супеси красно-бурые, темно-коричневые, серые, буровато-серые, обычно тонкие, тощие. Первые из них встречены на глубине от 0,2 до 17,1 м, вторые – супеси – на глубине от 0,2 до 28,7 м. Мощность их изменяется от 0,4 до 4,0 м и от 0,2 до 3,8 м соответственно.

Озерно-ледниковые пески, в основном, тонко- и мелкозернистые, полевошпатово-кварцевые, имеют спорадическое распространение, залегают отдельными разбросанными линзами как в кровле, так и в подошве глинистой толщи. Вскрытая мощность их изменяется от 0,1 до 4,9 м (во вскрыше) и от 0,2 до 5,8 м (в подошве).



а



б

Рисунок 2 – Прослои и линзы в продуктивной глинистой толще:
а – темно-серого алеврита; б – серовато-желтого тонкозернистого песка

Флювиогляциальные отложения надморенные поозерского горизонта ($fQ_3pz_3^s$) распространены в виде небольших участков на юго-востоке территории месторождения, а также восточнее и западнее от него. Залегают непосредственно под растительным слоем. Представлены песками бурыми разных оттенков, тонко-, мелко- и разнозернистыми, полевошпатово-кварцевыми, иногда гравелистыми, с содержанием гравия и гальки от единичных зерен до 15 %, а также песчано-гравийной породой серого и желтовато-серого цветов. Пески в основном карбонатные. Пройденная мощность отложений, по данным Комплексной горно-геологической партии (1987), изменяется от 2,0 до 8,9 м.

Аллювиальные отложения пойм судобльско-го горизонта (aQ_4sd) приурочены к долине р. Лукомки, залегают с поверхности под растительным слоем. Представлены они песками бурыми и желто-бурыми, мелко- и разнозернистыми, полевошпатово-кварцевыми с включением гравия и гальки до 14 %. Пески в основном карбонатные (14,5 %). На полную мощность не пройдены. Вскрытая мощность составляет 5,0 м.

Болотные отложения судобльского горизонта (plQ_4sd) не имеют широкого распространения в пределах месторождения, приурочены в основном к пониженным формам рельефа, залегают с поверхности. Представлены они торфом желто-бурым, черным, темно-серым, серовато-черным, рыхлым, с остатками неразложившейся растительности. Мощность болотных отложений изменяется от 0,2 до 1,0 м.

Гидрогеологические условия территории исследований относительно простые и связаны в основном с двумя водоносными горизонтами: а) подземными водами типа «верховодка», приуроченными к песчано-глинистой толще отложений, перекрывающей залежь озерно-ледниковых глин; б) напорными подземными водами поозерского водно-ледникового водоносного комплекса, приуроченного к песчаным прослоям нижней части продуктивной глинистой толщи и подстилающим пескам, залегающим между озерно-ледниковыми глинами и поозерской мореной.

Согласно фондовым материалам, воды **верховодки** имеют ограниченное в плане распространение

и формируются в отрицательных формах рельефа кровли продуктивной глинистой толщи, вскрыты на глубинах от 0,3 до 6,0 м. Они безнапорны, приурочены к современным озерно-болотным и поозерским надморенным озерно-ледниковым отложениям, литологически представленным тонко- и мелкозернистыми, реже среднезернистыми песками, песчано-гравийным материалом или пылеватой супесью. Мощность верховодки изменяется от 0,3 до 3,1 м, в пределах района работ до 2,5 м. Питание ее происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. Из-за незначительной мощности водонасыщенного слоя верховодка образует, как правило, лишь временные скопления воды и носит сезонный характер. Наибольшее развитие эти воды получают весной после снеготаяния или в осеннее время в период обильного выпадения дождевых осадков. Гидравлической связи с речными водами они не имеют.

Фильтрационные свойства пород верховодки различные, изменяются довольно в широких пределах в зависимости от литологического состава. Их коэффициент фильтрации варьирует от десятых и сотых долей до 2 м/сут, а водопроницаемость не превышает 5 м²/сут.

Воды верховодки пресные с минерализацией 0,26–0,39 г/дм³, гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, мягкие и умеренно жесткие (общая жесткость 2,94–4,74 мг-экв/дм³), кислые и нейтральные (рН 6,5–7,0), обладают выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону (карбонатная жесткость 2,8–4,3 мг-экв/дм³, что превышает допустимую норму – 2,14 мг-экв/дм³).

Подземные воды поозерского водно-ледникового водоносного комплекса, по данным ранее проведенных геологоразведочных работ, вскрыты на глубинах от 9,4 до 34,4 м, приурочены к озерно-ледниковым надморенным тонко- и мелкозернистым, нередко глинистым пескам. Мощность горизонта не выдержана и колеблется от 0,2 до 5,8 м, составляя в среднем 2,0 м.

По гидравлическому признаку водоносный комплекс в целом напорно-безнапорный. В пределах исследуемой территории воды комплекса обладают напором, его величина изменяется от 1,4 до 14,5 м, в среднем составляя 4,9 м, пьезометрические уровни устанавливаются на отметках 146,0–178,3 м. Питание водоносного комплекса осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и подтока подземных вод из смежных горизонтов за пределами месторождения. Дренируется он речной сетью и частично разгружается в крупных озерных котловинах. Уровенный режим подземных вод находится в тесной взаимосвязи с климатическими факторами и характеризуется сезонными колебаниями. По данным режимных наблюдений, максимальное положение уровней отмечается в период весеннего

половодья, минимальное – в летнюю межень. Амплитуда колебания уровней составляет 0,4–0,7 м.

Воды комплекса пресные с минерализацией 0,64–0,67 г/дм³, гидрокарбонатные натриевые, умеренно жесткие (общая жесткость 3,36–3,37 мг-экв/дм³), с рН 6,9–7,1, обладают выщелачивающей агрессивностью по отношению к бетону (карбонатная жесткость 3,36–3,37 мг-экв/дм³, что выше допустимой нормы).

Современные геологические и инженерно-геологические процессы на территории исследований не получили столь широкого развития. В существующих здесь природных условиях, где рельеф имеет преимущественно равнинный характер, а верхняя часть разреза повсеместно сложена породами без жестких связей, возникновение и активность данных процессов будут определяться, в первую очередь, характером теплообеспеченности и увлажненности территории, а также составом отложений и расчлененностью рельефа.

В пределах изучаемой нами территории, наряду с возникающими здесь проявлениями оползневых процессов (как предмета исследований их характеристика будет рассмотрена отдельно), развиты выветривание, подтопление территории подземными водами, затопление с заболачиванием пониженных участков поверхностными водами, суффозия, плоскостная эрозия и нарушение естественного стока поверхностных вод. Они часто связаны между собой, активизируются в связи с хозяйственной деятельностью и могут оказывать отрицательное влияние на осуществление какой-либо хозяйственной деятельности, в том числе на ведение горных работ.

Выветривание – совокупность физических, физико-химических и биохимических процессов, происходящих в приповерхностной части литосферы при взаимодействии горных пород с атмосферой, гидросферой и биосферой (агентами выветривания) и приводящих к изменению состава, строения, состояния и свойств горных пород. Суть этого процесса сводится к физическому разрушению и химическому и биохимическому разложению материнских горных пород под действием многочисленных факторов, таких как колебания температуры, расклинивающее действие замерзающей воды, воздействие кислорода, углекислоты, органических кислот и т.д. Наряду с природными факторами, все виды выветривания могут развиваться и под влиянием техногенных факторов. Выветривание, являясь подготовительным процессом для большинства геологических процессов и явлений, существенно видоизменяется по своим масштабам, интенсивности и распространению под влиянием человеческой деятельности. Проявляется так называемое «техногенное выветривание», являющееся по своей

сути условным. Оно относится не только к техногенным факторам процесса, но и к формированию искусственных обнажений – объекта развития выветривания – в горных выработках, дорожных выемках, на насыпных сооружениях и т.п. При этом сам процесс выветривания на техногенных обнажениях может развиваться под влиянием природных, техногенных и природно-техногенных факторов в различном сочетании. Главными отличительными чертами техногенного выветривания являются молодость и незаконченность процесса, маломощная, усеченная как сверху, так и снизу кора выветривания, небольшие масштабы обнажений, преобладание физического выветривания и т.д.

Процессы подтопления и затопления. Эти процессы могут проявляться в понижениях рельефа, сложенных маломощными песчаными породами, подстилаемыми глинистыми слабопроницаемыми грунтами с низкими коэффициентами фильтрации. Их интенсивность будет определяться продолжительностью обильных осадков.

Суффозия. Ее возникновение наиболее вероятно в откосах, сложенных песчано-гравийно-галечниковыми отложениями с прослоями глин, особенно в условиях подтопления территории. Этот процесс может также проявляться и в нижней части откоса, сложенной песчаными породами и представляющей собой область разгрузки подземных вод поозерского водно-ледникового водоносного комплекса.

Плоскостная эрозия пользуется на исследуемой территории более широким распространением по сравнению с другими процессами. Она наблюдается при крутизне поверхности от 1° и более. Ее формирование связано с атмосферными осадками, которые в виде дождей или талой воды стекают по естественным склонам и искусственным откосам и образуют на их поверхности либо пластовые, либо струйчатые (ручейковые) потоки. Толщина таких потоков может изменяться от нескольких миллиметров до первых десятков сантиметров, в зависимости от особенностей строения и морфологии поверхности склонов. В результате струйчатого размыва на склонах образуется временная эрозионная или ручейковая сеть, обладающая различной способностью транспорта продуктов размыва.

Естественный **рельеф** района исследований волнистый, его формы пологие, сглаженные, абсолютные отметки колеблются от 163,6 м (в долине р. Лукомки) до 193,6 м (в северной части месторождения в пределах конечно-моренной возвышенности), преобладают отметки 175,0–185,0 м.

Климат района месторождения умеренно-континентальный, с теплым влажным летом и от-

носительно снежной и ветреной зимой. В течение года температура здесь обычно колеблется от –9 до +23 °С и редко бывает ниже –21 °С или выше +29 °С. Продолжительность теплого сезона составляет 3,6 месяца, с 17 мая по 6 сентября, с максимальной среднесуточной температурой выше +18 °С, холодного сезона – 3,9 месяца, с 17 ноября по 12 марта, с минимальной среднесуточной температурой ниже 2 °С [7]. Среднегодовое количество осадков на территории исследований превышает 650 мм. Дождливая часть года длится 10 месяцев, с 1 марта по 1 января, с количеством дождевых осадков за скользящий 31-дневный период не менее 13 мм. Продолжительность же снежной части года составляет 5,7 месяца, с 23 октября по 13 апреля, с количеством снега за скользящий 31-дневный период не менее 25 мм. Месяц с наибольшим количеством дождевых осадков – июнь, со средним количеством осадков 68 мм, а с наибольшим количеством снеговых осадков – январь, со средним количеством снега 165 мм [7]. При этом надо заметить, что по данным наблюдений Белгидромета [8] зимний период 2022/2023 г. в районе месторождения, как и всей Витебской области в целом, характеризовался аномально высоким количеством выпавших атмосферных осадков – более чем в 1,5 раза по сравнению с предыдущими годами. Причем выпадали осадки преимущественно в виде снега, мокрого снега и дождя.

Гидрографическая сеть района исследований представлена р. Лукомкой и сетью небольших мелиоративных каналов (рис. 1). Река Лукомка протекает к западу от карьеров на расстоянии 2,0 км. Она вытекает из оз. Лукомское и впадает за пределами месторождения в р. Уллу. Ширина долины реки составляет 0,4–0,6 км, а ее поймы 0,2–0,5 км. Русло извилистое, шириной 5–12 м; глубина реки составляет 0,9–1,7 м, абсолютная отметка уреза воды – 163,2 м. Скорость течения воды в реке невысокая и изменяется от 0,1 до 0,3 м/с. Среднегодовой расход в устье составляет 5,4 м³/с [1].

К востоку от карьера на восточной окраине д. Стражевичи расположены 4 безымянных озера различных размеров и конфигурации (рис. 1). Крупные из них имеют площадь около 20–25 тыс. м² и глубину до 5 м; отметка уреза воды в озерах составляет 168,2 м.

Почвы района исследований преимущественно дерново-подзолистые. Ввиду тяжелого гранулометрического состава автоморфные почвы здесь встречаются реже, чем их заболоченные аналоги, которые формируются на выровненных понижениях с затрудненным стоком поверхностных вод или близким залеганием грунтовых вод.

По гранулометрическому составу эти почвы подразделяются на суглинистые, супесчаные и песчаные. В зависимости от степени избыточного увлажнения среди них выделяются слабogleеватые с признаками временного заболачивания, глееватые и глеевые с сильно выраженным сплошным глеевым горизонтом. По строению генетического профиля дерново-подзолистые заболоченные почвы сходны с дерново-подзолистыми, однако в одном или нескольких горизонтах всегда отражены признаки заболачивания. По данным фондовых материалов, средняя глубина промерзания почв под снегом в районе составляет 0,4–0,6 м, в бесснежные зимы достигает 1,35 м.

Территория исследований слабо залесена, лесные участки приурочены к приконтурной полосе месторождения глин.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для установления причин возникновения и развития опасных оползневых процессов в откосах северо-восточного и восточного бортов карьера завода керамзитового гравия был выполнен комплекс инженерно-геологических исследований, предполагающих изучение:

- морфологии и строения (структуры) оползней;
- обводненности, физических и физико-механических свойств пород, слагающих оползневые склоны;
- сопутствующих геологических процессов и явлений;
- динамики развития оползневых явлений;
- соотношения усилий (сдвигающих и удерживающих), определяющих равновесие масс горных пород, слагающих оползень (проводится посредством анализа устойчивости оползневого склона).

Для получения информации о морфологии, строении оползня, наличии на склонах подземных вод (и зон повышенной влажности грунтов) использовались традиционные маршрутные наблюдения [14] с привлечением фотосъемки и беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Отбор образцов для определения физических и физико-механических свойств горных пород оползневых массивов осуществлялся по стандартной методике [4] из обнажений склонов и неглубоких скважин, пробуренных с помощью ручного бурового инструмента «Бур геолога».

Данные о физических и физико-механических свойствах грунтов, полученные лабораторными испытаниями [5; 6], сопоставлялись с имеющимися материалами изыскательских работ прошлых лет,

включая рекомендации, указания и т.п. [9; 11; 15; 16; 18].

Сопутствующие геологические процессы и явления изучались также в ходе маршрутных наблюдений [2; 14] с привлечением фотосъемки и беспилотного летательного аппарата.

Для анализа динамики развития оползневых явлений на склонах карьера использовались материалы беспилотной съемки апреля и октября 2023 г., а также картографические материалы предыдущих лет. Для съемки использовался БПЛА Phantom4 позиционирование которого осуществлялось с точностью 4–5 см с помощью модуля RTK. Обработка и сравнение материалов весенней и осенней съемки 2023 г. проводились с привлечением инструментария программного обеспечения Agisoft Metashape, QGIS и SAGA.

Полученные ортофотопланы и цифровые модели местности (ЦММ) впоследствии способствовали объективному доказательству существования относительно стабильного состояния оползней в течение года. Кроме того, на базе полученных данных была построена модель формирования поверхностного стока на исследуемой территории, которая позволила судить о возможном застойном переувлажнении участков, примыкающих к северному и особенно восточному бортам карьера, в случае избыточного выпадения осадков.

Все полевые исследования участков развития оползней в откосах бортов карьера проводились в два этапа. На первом из них проводились все морфологические и морфометрические исследования в зоне развития оползней и прилегающей к ней территории, осуществлялся отбор монолитов грунтов из отработанных откосов для лабораторных анализов и испытаний, определялись основные физические и физико-механические свойства грунтов.

Второй этап был нацелен на установление изменений в состоянии оползневых участков с дополнительным отбором образцов грунта из неглубоких скважин на прилегающей к участкам местности и определения их свойств.

Одним из ключевых методов в исследовании оползневых процессов является изучение соотношения сдвигающих и удерживающих усилий, определяющих равновесие масс грунтов, слагающих склон или откос. Такое изучение основывается на оценке устойчивости оползневого склона.

В отечественной практике из инженерных методов расчета устойчивости склоновых поверхностей в однородной (квазиоднородной) среде, что соответствует объекту наших исследований, наибольшее распространение получил метод предельного равновесия.

Исходные положения теории предельного равновесия, на которых построены методы расчета, следующие [9]:

а) нарушение устойчивости борта (откоса или склона) происходит в виде оползня или обрушения по поверхности скольжения;

б) при отсутствии или слабом выражении в откосе неблагоприятно расположенных поверхностей ослабления массива поверхность скольжения является монотонной, близкой по форме к круглоцилиндрической поверхности и имеет на разрезе вид плавной дуги;

в) при наличии в откосе неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления поверхность скольжения полностью или частично совпадает с ними и на разрезе имеет вид ломаной линии.

Устойчивость бортов или откосов карьеров обеспечивается при условиях, когда отношение удерживающих сил, действующих по наиболее напряженной (наиболее слабой) поверхности в прибортовом массиве, к сдвигающим силам по этой поверхности составляет не менее величины нормативного коэффициента запаса устойчивости η , т.е. выполняется условие:

$$((tg\varphi \times \Sigma N + CL + A) / (\Sigma T + B)) \geq \eta_n,$$

где $tg\varphi \times \Sigma N + CL$ – сумма сил трения и сцепления, удерживающих откос;

ΣT – суммы касательных сил, сдвигающих откос;

A – другие силы, удерживающие откос;

B – другие силы, сдвигающие откос;

η_n – коэффициент запаса устойчивости [9; 13; 15].

Определение наиболее напряженной поверхности скольжения производится на основе аналитических расчетов или путем выбора из множества поверхностей ослабления поверхности с минимальным коэффициентом запаса устойчивости.

При построении поверхности скольжения определяют положение трещины отрыва, уходящей в массив на глубину H_{90} [9]:

$$H_{90} = (2c_\eta / \rho) \times \operatorname{ctg} (45^\circ - (\varphi_\eta / 2)),$$

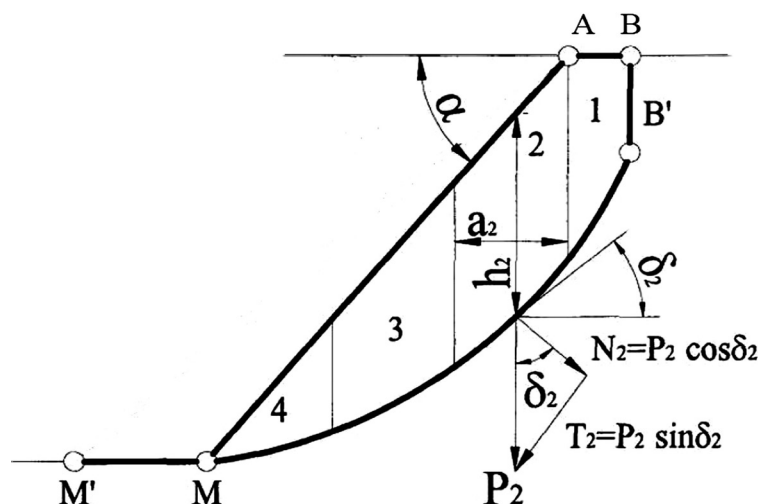
где c_η – сцепление в грунтовом массиве, т/м²;

φ_η – угол внутреннего трения грунтов массива, град.;

ρ – средняя плотность грунтов массива в естественном состоянии, т/м³.

При расчете устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов с использованием теории предельного равновесия применяют либо методы алгебраического или векторного сложения сил (многоугольника сил), либо методы, удовлетворяющие трем уравнениям равновесия (сил и моментов).

В нашем случае оценку устойчивости оползневых склонов производили методом алгебраического сложения сил, поскольку данный метод при небольшой высоте откосов (до 100 м) и небольших значениях углов внутреннего трения грунтов массива ($\varphi < 20^\circ$) дает достаточно надежные результаты [12]. Схема расчета методом алгебраического сложения сил приведена на рисунке 3.



Для удобства все графические построения и расчеты производились с помощью программы «Fisenko_M-2021», разработанной С. В. Смолич, доцентом кафедры прикладной геологии и технологии геологической разведки Забайкальского государственного университета (Российская Федерация), в соответствии с нормативными документами и методическими указаниями [10; 13; 17; 18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведения морфологических исследований было установлено, что на участке развития рассматриваемых склоновых процессов имеют место проявления оползней двух форм плановых очертаний: фронтальные и циркообразные. Первые из них приурочены к восточному (1а) и юго-восточному (1б) борту карьера, имеют субмеридиональное направление; вторые сформировались в северо-восточной (2а) и восточной (2б) частях карьера в направлении склоновых поверхностей перпендикулярно фронтальным (рис. 4).

Фронтальные оползни по положению поверхности скольжения относятся к асеквентным, по механизму смещения – к оползням выдавливания (сжатия). На механизм их возникновения указывают блоковое строение и фронтальные очер-

тания в плане (протяженность L – 300 и 154 м, ширина B – 50–80 м и 30–50 м соответственно). Поверхность оползней ступенчатая, террасовидная (рис. 5). Сформированные оползневые уступы большей частью наклонены в сторону коренного массива. Характерны протяженные непрерывные трещины отрыва, которые расположены вверху по контакту оползневых тел с коренным массивом и по границам между оползневыми блоками, а также по контуру образуемых валов сжатия перед блоками и в нижней части склона. Высота оползневых тел на наблюдаемых участках – 18–21 м. Стенки отрыва оползней крутопадающие, наиболее высокие в центральной части верхних блоков. Поверхности скольжения при отделении оползневых блоков от коренного массива почти отвесные в верхней части, криволинейные, близкие к круглоцилиндрическому очертанию. В нижних своих частях они выполаживаются и соединяются с почти горизонтальными поверхностями скольжения ранее сместившихся оползневых блоков, составляющих тело оползней. Каких-либо выходов подземных вод или сильно увлажненных участков в разных частях оползней не выявлено. Поверхность оползней покрыта травянисто-кустарниковой растительностью. Направление роста кустарников в основном вертикальное.

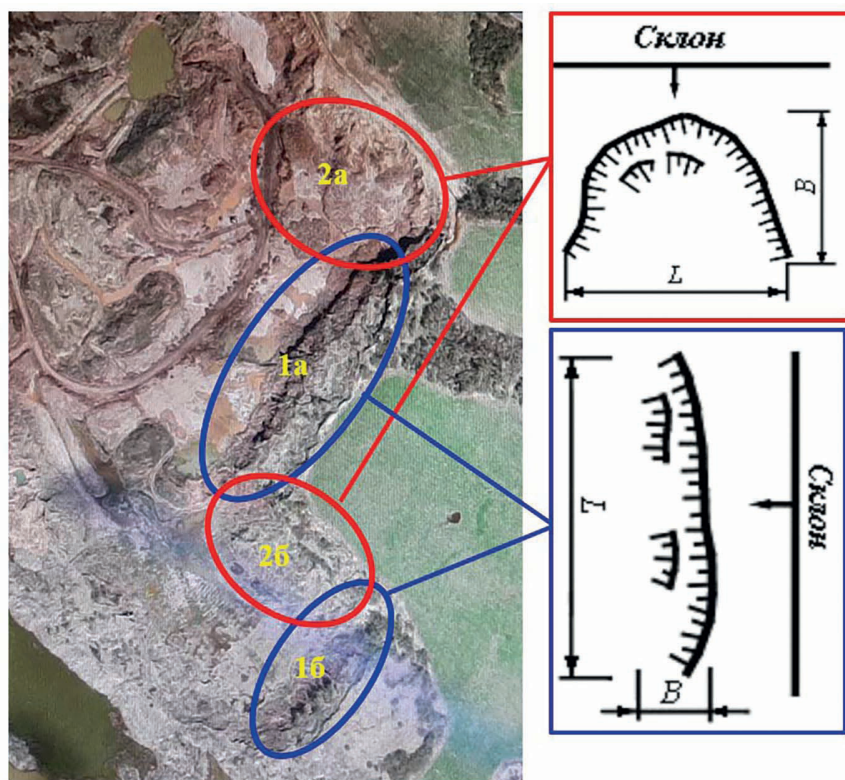


Рисунок 4 – Схема расположения оползней в бортах карьера по разработке месторождения глин «Лукомль-1» ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль». Оползни: 1 а, б – фронтальные; 2 а, б – циркообразные

Циркообразные оползни по положению поверхности скольжения и механизму смещения идентичны фронтальным, отличаясь от последних лишь формой плановых очертаний, – главный уступ полукругом окаймляет понижение (или амфитеатр) в рельефе склона, в пределах которого располагается оползень (рис. 6).

Размеры их составляют 160 и 114 м по фронту при ширине захвата склона 85–90 м и амплитуде смещения 7–10 м и 2,5–4 м соответственно. Стенки отрыва оползней крутые, книзу переходящие в поверхности круглоцилиндрических очертаний. Рельеф оползневых тел волнисто-бугристый, осложненный поперечными уступами и валами высотой 1,5–3 м. Поверхность валов испещрена продольными и поперечными трещинами и рытвинами. Вдоль главного уступа на расстоянии 0,7–1,5 м от его бровки на поверхности массива местами наблюдаются

вертикальные трещины разной глубины, ширины и протяженности (рис. 7).

Выходов подземных вод и сильно увлажненных участков в стенках отрыва и у подножья оползневых тел не выявлено. Поверхность оползней покрыта травянистой и древесно-кустарниковой растительностью. Направление роста деревьев и кустарников преимущественно вертикальное, за исключением отдельных наклоненных деревьев в нижней части оползня.

Обследование прилегающей к карьеру территории показало, что в непосредственной близости от оползневых участков располагается несколько относительно крупных (на северо-востоке, востоке и юго-востоке от горной выработки) и ряд мелких естественных заболоченных западин, которые в весенний и осенний периоды при заполнении талыми и дождевыми водами становятся причиной переувлажнения грунтовых массивов (рис. 8).



а



б

Рисунок 5 – Ступенчатая (а) и террасовидная (б) поверхности оползней



Рисунок 6 – Циркообразный оползень выдавливания в северо-восточной части карьера



Рисунок 7 – Трещины на поверхности грунтового массива вдоль главного оползневого уступа в северо-восточной части карьера

Результаты повторного обследования оползневых склонов, проведенного во второй декаде октября 2023 г., показали, что оползни находятся в состоянии относительного покоя. В то же время на оползневом участке в северо-восточной части

карьера отмечен размыв базиса денудации оползня, а также увеличение геометрических параметров трещин на поверхности тела оползня и грунтового массива вдоль главного уступа.

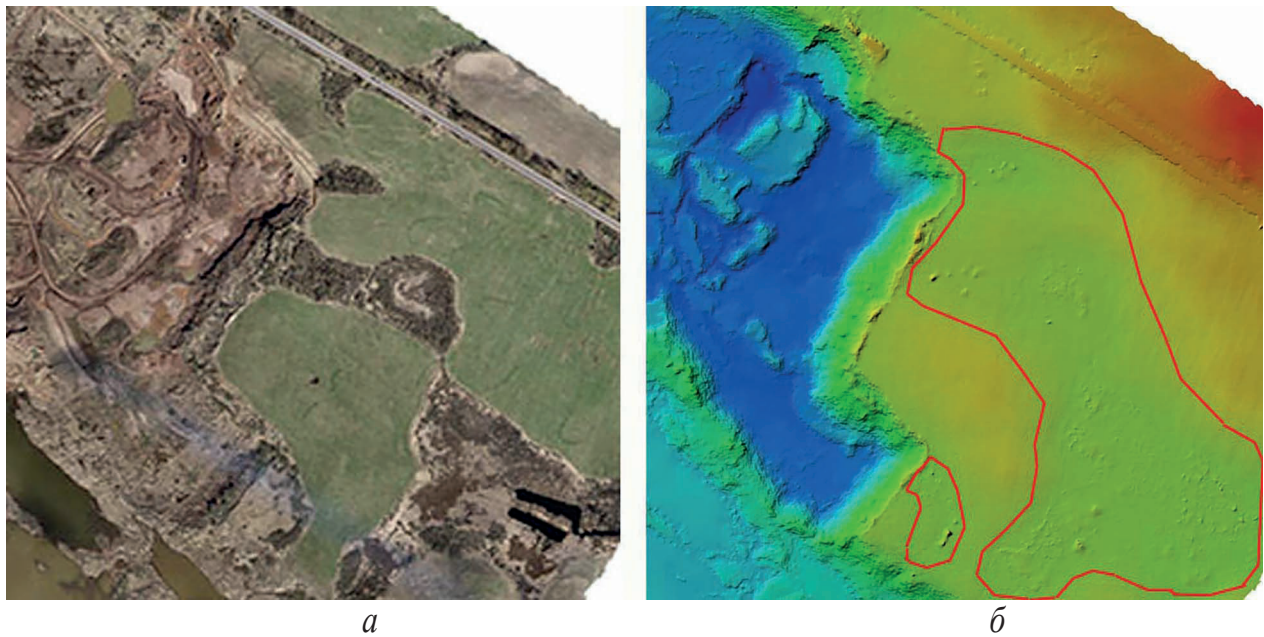


Рисунок 8 – Ортофотоплан северо-восточного и восточного бортов карьера по добыче глин «Лукомль-1» (а) и модель формирования поверхностного стока на прилегающих к ним территориях (б).
Красной линией показана граница распространения естественных заболоченных западин и понижений

Таблица – Физические и физико-механические свойства озерно-ледниковых глинистых грунтов

Номер горной выработки	Природная влажность W , %	Плотность, г/см ³			Пористость n , %	Коэффициент пористости e	Степень влажности S_r	Граница текучести W_L , %	Граница раскатывания W_p , %	Число пластичности I_p	Число текучести I_L	Сцепление c , 10 ⁵ Па	Угол внутреннего трения φ , град.
		грунта	сухого грунта	частиц грунта									
P1	28,93	1,93	1,50	2,74	45,27	0,83	0,97	46,57	23,80	22,77	0,23	0,45	9
C1	26,8	2,02	1,59	2,74	41,83	0,72	1,00	47,4	24,90	22,5	0,09	0,54	15
C2	27,10	2,03	1,60	2,74	41,73	0,72	1,00	45,27	23,93	21,33	0,15	0,61	14
C2	23,73	2,07	1,67	2,74	39,07	0,64	1,00	46,57	25,03	21,53	-0,06	0,27	26
C3	25,93	2,07	1,64	2,74	40,03	0,67	1,00	46,90	24,07	22,83	0,08	0,50	21
C3	33,47	1,96	1,47	2,74	46,33	0,87	1,00	57,93	30,30	27,63	0,12	0,57	18

Одним из наиболее распространенных подходов к оценке критической ситуации на оползневых склонах являются расчеты устойчивости склонов. Для оценки устойчивых параметров рассматриваемых оползневых склонов карьера по данным лабораторных испытаний озерно-ледниковых глинистых грунтов (см. таблицу), слагающих оползневые участки и грунтовые массивы прилегающих территорий, нами произведена выборка и усреднение физико-механических свойств грунтов, в результате чего получены следующие значения: сцепление – $c_{cp} = 0,489 \cdot 10^5$ Па = 499 г/см² = 4,99 т/м²; угол

внутреннего трения – $\varphi_{cp} = 17^\circ$; плотность грунта (объемный вес) при естественной влажности – $\rho_{cp} = 2,01$ г/см³ = 2,01 т/м³.

С учетом нормативного коэффициента запаса устойчивости $\eta = 1,2$, принятого в соответствии с «Правилами обеспечения...» [13], определены расчетные характеристики прочности пород: $c_\eta = 4,16$ т/м²; $\varphi_\eta = 14^\circ$.

Выполненные расчеты по шести выбранным сечениям при проектном угле откосов нерабочих бортов карьера 40° без учета дополнительных каких-либо техногенных факторов (пригрузка

ГЕАЛОГІЯ

склонов, вибрация от транспорта и т.д.) показали, что вычисленные коэффициенты устойчивости исследуемых оползневых склонов ($K_y = 1,08 \div 1,16$) ниже нормативного коэффициента запаса устойчивости, т.е. все откосы нерабочих бортов восточной части карьера оказались неустойчивыми. Таким образом, принятые в настоящее время углы заложения откосов в глинистой грунтовой толще являются недостаточными для обеспечения длительной устойчивости бортов карьера при неблагоприятном сочетании факторов, определяющих прочность слагающих его грунтов.

ВЫВОДЫ

Результаты изучения оползневых процессов в северо-восточной и восточной частях карьера глин «Лукомль-1», принадлежащего ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль», позволяют сделать следующие выводы.

1. На исследуемых участках карьера имеют место проявления оползней двух форм плановых очертаний: фронтальные и циркообразные; по положению поверхности скольжения это типичные асеквентные оползни, по механизму смещения – оползни выдавливания (сжатия). Особенностью их механизма в стадию подготовки смещения является воздействие вертикального давления вышележающей толщи на деформируемый «слабый» слой.

2. Обследование оползневых участков позволило установить, что возникновение оползневых деформаций откосов карьера обусловлено комплексом естественных причин, поскольку при отработке данного участка каких-либо технологических нарушений, повлекших за собой обрушения, выявлено не было.

3. Основным фактором схода оползней в карьере, как показали результаты исследований, следует считать наличие в непосредственной близости от откосов северо-восточного и восточного бортов карьера ряда заболоченных понижений и западин, которые в условиях аномально выпавших в зимний период 2022/2023 г. атмосферных осадков, превышающих среднюю норму для данного района более чем в 1,5 раза, стали причиной повышенной концентрации талых вод в них, спорадического появления верховодки в перекрывающих продуктивную глинистую толщу отложениях и, как результат, значительного и глубокого промачивания и насыщения водой ниже залегающих грунтов, что привело к изменению их физико-механических свойств при увлажнении, повлекшему снижение прочности и устойчивости грунтовых массивов.

Другим существенным фактором возникновения оползней в откосах карьера следует считать

квазиоднородное строение грунтового массива, обусловленное частым присутствием в массиве глинистых грунтов тонких алевроитовых прожилков, а также прослоев и линз тонкозернистого песка. Их наличие в совокупности с водонасыщением грунтового массива облегчает возникновение горизонтальных сдвигов в глинистой толще по контакту с прослойками, способствуя тем самым быстрому обрушению карьерных откосов.

4. С экономической точки зрения представляется нецелесообразным проведение восстановительных работ бортов карьера, а также каких-либо технических работ по защите склонов от поражения оползневыми процессами, т.к. эти явления в принципе будут провоцироваться наличием близко расположенных заболоченных понижений, спорадическим появлением верховодки в перекрывающих продуктивную залежь отложениях и квазиоднородным строением разрабатываемой глинистой толщи. Последнее подтверждается анализом буровых колонок скважин, пробуренных в 1977 и 1987 гг. и расположенных восточнее исследуемых оползневых участков, где на глубинах от 4 до 33 м отмечаются многочисленные прослойки и линзы тонкого серого песка. Кроме того, существующие сельскохозяйственные угодья, находящиеся за пределами земельного отвода карьера вне пользования заказчика, также могут рассматриваться как фактор провоцирования оползневых деформаций в откосах карьера. Дополнительная нагрузка, вызываемая работой сельхозтехники, выпасом скота и др., может способствовать возрастанию сдвиговых напряжений и давления поровых вод в глинистых грунтах, снижая их прочность на сдвиг.

По этой причине ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» было предложено обратиться с ходатайством в органы исполнительной власти о расширении границ земельного отвода, мотивируя это тем, что без устранения основного естественного фактора провоцирования оползневых процессов (наличие заболоченных понижений и западин вблизи приоткосных массивов, а также спорадическое появление верховодки в перекрывающих глинистую толщу отложениях) какие-либо горные работы в пределах северо-восточного и восточного бортов карьера будут сопряжены с большой долей вероятности возникновения и развития оползней.

В дальнейшем для обеспечения длительной устойчивости отработанных бортов карьера при неблагоприятном сочетании факторов, определяющих прочностные характеристики слагающих их грунтов, проектные углы заложения откосов в толще озерно-ледниковых глин рекомендовано снизить до $35-32^\circ$, что было подтверждено расчетными дан-

ными, согласно которым численные значения коэффициентов устойчивости исследуемых оползневых склонов выше значений нормативного коэффициента запаса устойчивости ($K_y \geq 1,2$).

В качестве профилактических мер по предупреждению дальнейшего возникновения и развития оползней на откосах карьера заводу керамзитового

гравия было предложено организовать и силами его маркшейдерской службы проводить мониторинговые наблюдения за состоянием склоновых поверхностей и активностью сопутствующих оползням экзогенных геологических процессов, происходящих в карьере и на прилегающих территориях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Блакiтная** кнiга Беларусi. (Водныя аб'екты Беларусi) : энцыкл. / рэд. Н. А. Дзiсько [i iнш.]. – Мiнск : Бел. энцыкл. iмя П. Броўкi, 1994. – 415 с.
2. **Бурлуцкий, С. Б.** Оценка инженерно-геологических условий оползневых склонов / С. Б. Бурлуцкий, Е. С. Кудашов. – СПб. : Лема, 2018. – 35 с.
3. **Геамарфалагiчнае** раянiраванне. Масштаб 1:5750 000 / А. В. Мацвееў // Беларуская энцыклапедыя : у 18 тамах / рэдкал.: Г. П. Пашкоў [i iнш.]. – Мiнск : БелЭн, 2004. – Т. 18. – Кн. II. – С. 38.
4. **ГОСТ 12071-2014.** Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. – М. : Стандартинформ, 2015. – 12 с.
5. **ГОСТ 12248-2010.** Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М. : Стандартинформ, 2011. – 78 с.
6. **ГОСТ 5180-84.** Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 24 с.
7. **Климат** и средняя погода круглый год в г. Новолукомль [Электронный ресурс] // Weather Spark. – 2023. – Режим доступа: <https://ru.weatherspark.com>. – Дата доступа: 02.10.2023.
8. **Климатическая** характеристика зимы 2022–2023 г. [Электронный ресурс] // Белгидромет. – 2023. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-harakteristika-zimy-2022-2023-goda-6662-2023/>. – Дата доступа: 02.10.2023.
9. **Методические** указания по определению параметров бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов. – М. : ИПКОН РАН, 2022. – 80 с.
10. **Методические** указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров / сост. Г. Л. Фисенко [и др.]. – Л., 1972. – 165 с.
11. **ОДМ 218.2.033–2013.** Методические рекомендации по выполнению инженерно-геологических изысканий на оползнеопасных склонах и откосах автомобильных дорог. – М. : НТИЦ ГеоПроект, 2013. – 105 с.
12. **Оценка** устойчивости бортов карьеров (разрезов) и отвалов: метод. указания / сост. А. А. Григорьев, Е. В. Горбунова, А. Н. Девяткина. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2009. – 37 с.
13. **Правила** обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах / сост. Г. Л. Фисенко [и др.]. – СПб., 1998. – 208 с.
14. **Рекомендации** по инженерно-геологическим изысканиям в районах развития оползней / ПНИИИС. – М., 1969. – 95 с.
15. **Рекомендации** по количественной оценке устойчивости оползневых склонов / ПНИИИС. – М. : Стройиздат, 1984. – 80 с.
16. **Рекомендации** по прогнозу устойчивости обвально-оползневых склонов / ПНИИИС. – М. : Стройиздат, 1986. – 120 с.
17. **СП 14.13330.2018.** Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 11–7–81 / Минстрой России. – М. : Стандартинформ, 2018. – 122 с.
18. **Федеральные** нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила обеспечения устойчивости бортов и уступов карьеров, разрезов и откосов отвалов» (Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 13.11.2020 № 439) [Электронный ресурс] // Экспертиза промышленной безопасности. – 2023. – Режим доступа: <https://tk-expert.ru/uploads/files/ntd/ntd-809-20210108-191105.pdf?ysclid=lpgqc522os138854138>. – Дата доступа: 02.10.2023.
19. **Чацвярчiчныя** адклады. М 1:1 250 000 / Б. М. Гурскi [i iнш.] // Нацыянальны атлас Беларусi / гал. рэдкал.: М. У. Мясикувiч [i iнш.]. – Мiнск : Камiтэт па зямельных рэсурсах, геадэзii i картаграфii пры Сав. Мiн. Рэсп. Беларусь, 2002. – С. 42–43.

Аркул паступiў у рэдакцыю 27.11.2023

Рэцэнзент М. М. Прохараў

ДАСЛЕДАВАННЕ АПОЎЗНЕВЫХ ПРАЦЭСАЎ У АДКОСАХ БОРТАЎ КАР'ЕРА ГЛІН «ЛУКОМЛЬ-1» ІНЖЭНЕРНА-ГЕАЛАГІЧНЫМІ І ДЫСТАНЦЫЙНЫМІ МЕТАДАМІ

А. М. Галкін¹, А. Б. Тарбенка¹, І. А. Красоўская¹, А. І. Паўлоўскі²

¹Віцебскі дзяржаўны ўніверсітэт імя П. М. Машэрава
Маскоўскі прасп., 33, 210038, Віцебск, Беларусь
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Беларускі нацыянальны тэхнічны ўніверсітэт
прасп. Незалежнасці, 65, 220013, Мінск, Беларусь
E-mail: aipavlovsky@mail.ru

Распрацоўка радовішча глін «Лукомль-1» нярэдка суправаджаецца лакальнымі апоўзнямі і іншымі абрушэннямі, нягледзячы на прадугледжаныя праектам эксплуатацыі меры бяспекі. Значную шкоду нанеслі апоўзні, якія ўзніклі на адпрацаваных адкосах у паўночна-ўсходняй і ўсходняй частках кар'ера вясной 2023 г. Апоўзным дэфармацыям падвергся ўчастак схілаў працягласцю звыш 700 м. У перамяшчэнне было ўцягнута больш за 5500 м³. Праведзеныя даследаванні, якія ўключалі аналіз маркізэдарскіх даных, геалагічных матэрыялаў; вывучэнне марфалогіі і будовы (структуры) апоўзняў; аб'яўленасці, фізічных і фізіка-механічных уласцівасцей парод, якія складаюць апоўзневую схілу; спадарожных геалагічных працэсаў і з'яў вызначылі фактары ўзнікнення апоўзневых дэфармацый адкосаў у паўночна-ўсходняй і ўсходняй частках кар'ера глін. Асноўнымі сярод іх варта лічыць натуральныя фактары: аномальнае выпадзенне ў зімовы перыяд 2022/2023 г. атмасферных ападкаў, наяўнасць у непасрэднай блізкасці ад адкосаў кар'ера шэрага забалочаных паніжэнняў і западзін, і квазіаднастайны будынак масіва гліністых грунтоў, а таксама праслоў і лінзаў тонказярністага пяску. Даны рэкамендацыі па папярэджанні далейшага ўзнікнення і развіцця апоўзняў на адкосах кар'ера.

Ключавыя словы: азёрна-ледавіковыя гліны, кар'ер, прыродныя ўмовы, адкосы, апоўзні, устойлівасць схілаў.

RESEARCH OF LANDSLIDES PROCESSES IN BORN SCOPE CLAY QUARRY "LUKOML-1" ENGINEERING-GEOLOGICAL AND BY REMOTE METHODS

A. Galkin¹, A. Torbenko¹, I. Krasovskaya¹, A. Pavlovsky²

¹Vitebsk State University named after P. M. Masherov
33 Moskovskiy Ave, 210038, Vitebsk, Belarus
E-mail: galkin-alexandr@yandex.ru

²Belarusian National Technical University
65 Nezavisimosti Ave, 220013, Minsk, Belarus
E-mail: aipavlovsky@mail.ru

The development of the Lukoml-1 clay deposit is often accompanied by local landslides and other collapses, despite the safety measures provided for in the operation project. Significant damage was caused by landslides that occurred on mined slopes in the northeastern and eastern parts of the quarry in the spring of 2023. A section of slopes over 700 m in length was subject to landslide deformations. More than 55,000 m³ of soil were involved in the movement. Conducted research, which included analysis of survey data, geological materials; study of the morphology and structure of landslides; water content, physical and physical-mechanical properties of rocks composing landslide slopes; accompanying geological processes and phenomena determined the factors for the occurrence of landslide deformations of slopes in the northeastern and eastern parts of the clay quarry. The main ones among them should be considered natural factors: anomalous precipitation in the winter of 2022/2023, the presence in the immediate vicinity of the quarry slopes of a number of swampy depressions and depressions, and the quasi-homogeneous structure of the clayey soil massif, due to the frequent presence of thin silty soils in the clayey massif veins, as well as layers and lenses of fine-grained sand. Recommendations are given to prevent further occurrence and development of landslides on quarry slopes.

Key words: lacustrine-glacial clays, quarry, natural conditions, slopes, landslides, slope stability.

ГЕАХІМІЯ

УДК 551.464.6.02; 551.734.2; 551.734.3 (476)

ИЗОТОПЫ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА
В ВЕРХНЕЭЙФЕЛЬСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ БЕЛАРУСИА. А. Махнач¹, Б. Г. Покровский², О. В. Мурашко¹¹Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: amahnach1951@gmail.com²Геологический институт РАН
Пыжевский пер., 7, 119017, Москва, Россия
E-mail: pokrov@ginras.ru

Приведены результаты изучения распределения значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатсодержащих отложениях верхнего эйфеля (костюковичский горизонт) на территории Беларуси. Сочетание изотопных показателей в разрезе скв. Приволье (Северо-Припятское плечо) проинтерпретировано как отражение геохимической эволюции среднедевонского моря на рубеже эйфель – живет. Установлены изотопные сигналы активизации поступления в морской бассейн вод континентального стока (скв. Северо-Полоцкая на юго-востоке Латвийской седловины и скв. ГГК-1 на юго-западном краю Воронежской антеклизы) и постдиагенетического преобразования отложений в среде инфильтрационных атмогенных вод (скв. Быховская в зоне сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины и скв. Кормянская на Жлобинской седловине).

Ключевые слова: Беларусь, верхний эйфель, костюковичский горизонт, карбонатсодержащие отложения, изотопы углерода, изотопы кислорода.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящей публикацией завершается цикл работ по изотопно-геохимическому изучению нижне- и среднедевонских отложений в диапазоне от верхнего эмса до верхнего эйфеля пяти белорусских разрезов [2; 3; 7–13]. Эти разрезы вскрыты параметрическими скважинами 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 картировочной скважиной ГГК-1 (в Клиновском грабене на юго-западном краю Воронежской антеклизы) (рис. 1). В статье приведены результаты сопоставления изотопных данных по указанным разрезам для отложений верхнего эйфеля, представленных в Беларуси костюковичским горизонтом, который коррелируется с чернойгорским горизонтом Центрального девонского поля и кярнавским подгоризонтом наровского горизонта Литвы [1; 5; 6; 16].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Литостратиграфическое расчленение разрезов выполнено А. Г. Лапцевич, О. Ф. Кузьменковой,

Г. Д. Стрельцовой и Н. С. Яковлевой (Институт геологии, Минск). Из собранных ими образцов пород 40 проб доломитовых мергелей, глинистых доломитов, карбонатсодержащих глин, песков и песчаников костюковичского горизонта было использовано для определения изотопного состава углерода и кислорода, карбонатности и содержания органического углерода (C_{org}).

Небольшое количество образцов, составившее нашу коллекцию, объясняется неудовлетворительным отбором керна и наличием бескарбонатных интервалов, породы которых непригодны для изотопного анализа. Так, нижняя часть (34 м) Кормянского разреза пройдена без отбора керна, а в верхней – карбонатсодержащие породы встречаются спорадически. Верхние части разрезов скважин Северо-Полоцкая и ГГК-1 сложены бескарбонатными глинами, а Быховский разрез представлен чередованием карбонатсодержащих и бескарбонатных пород. В результате разрешение кривых изотопных вариаций, определяемое метражом «рабочего» интервала, охарактеризованным одним образцом, оказалось следующим: скв. Северо-Полоцкая – 1,1 м, Быховская – 4,9, Кормянская – 5,5, Приволье – 1,2, скв. ГГК-1 – 0,5 м.

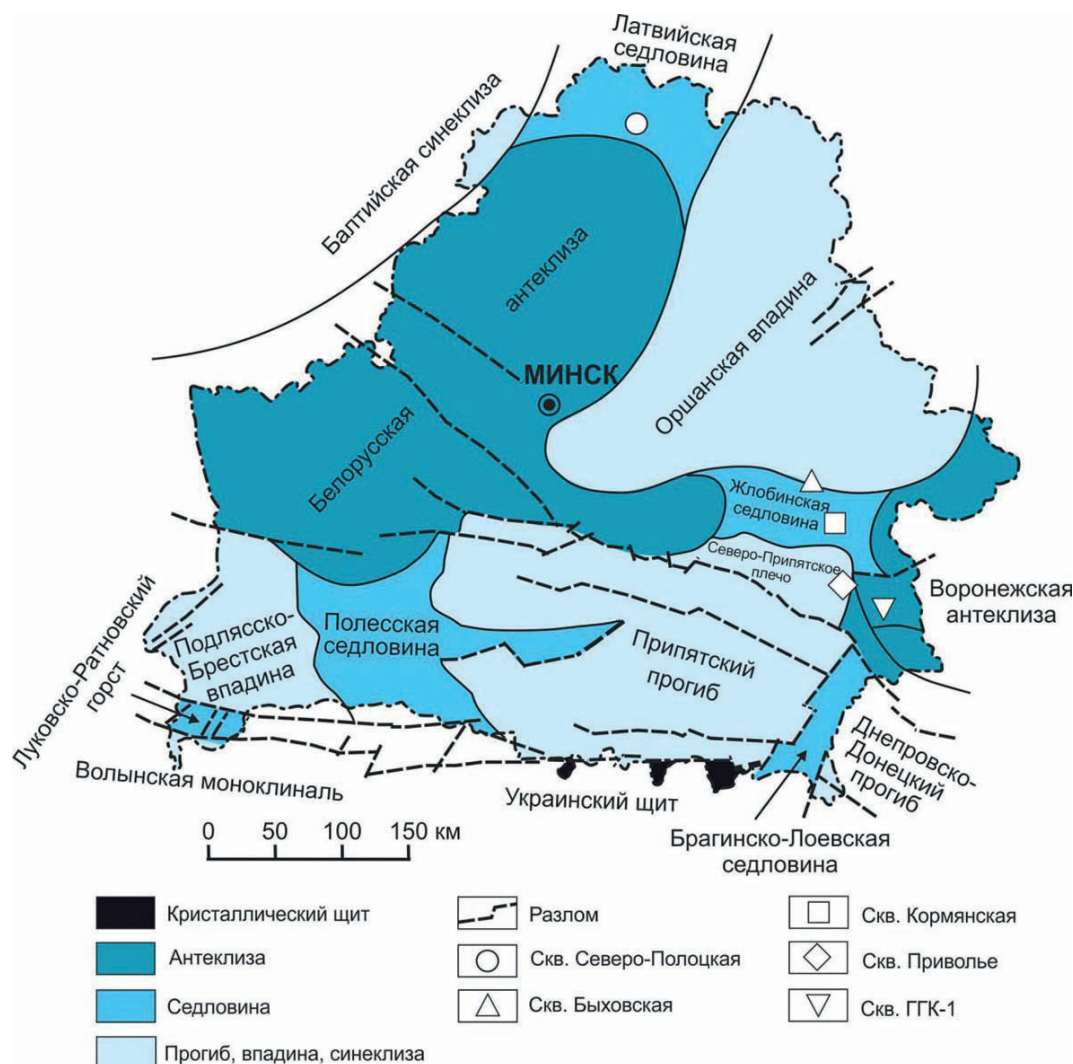


Рисунок 1 – Расположение скважин, материалы по которым использованы в работе, на схеме тектонического районирования территории Беларуси [4]

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 $\pm 0,2\%$. Карбонатность пород газометрическим методом и содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ посредством оксидометрии определялись в Институте геологии (Минск) Г. И. Лучиной.

Авторы благодарны указанным выше коллегам, способствовавшим формированию массива фактических данных, использованных в статье (табл. 1).

ЛИТОЛОГИЯ

Во всех пяти разрезах (рис. 2, 3) отложения костюковичского горизонта подстилаются образованиями городокского горизонта среднего эйфеля.

В разрезе скв. ГГК-1 они перекрываются породами нижнего триаса, в остальных разрезах – отложениями полоцкого горизонта (живетский ярус среднего девона).

В скв. Северо-Полоцкая костюковичский горизонт, мощностью 17,5 м (246,5–264,0 м), в основной своей части складывается доломитовыми, иногда глинистыми мергелями с прослоями глинистых и известковых пелитоморфных доломитов. Верхняя часть (5 м) представлена бескарбонатными алевроитистыми глинами. Окраска пород пестрая: сочетаются участки зеленовато-серого, кирпично-красного, лилового цвета.

В Быховском разрезе костюковичский горизонт залегает в интервале 174,8–204,4 м (мощность 29,6 м) и представлен, главным образом, пестроцветными алевроитистыми глинами, иногда карбонатсодержащими. Имеются также линзы и прослои алевролитов, известняков, глинистых мергелей, включения доломита.

Таблица 1 – Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов
в отложениях костюковичского горизонта (верхний эйфель) Беларуси

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	Сорг, %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)
Скв. Северо-Полоцкая						
251,3	Доломит известковый глинистый	15,3	75,2	0,17	-1,2	-4,3
252,2	Доломит известковый глинистый	29,4	56,9	0,18	-1,9	-2,9
254,5	Мергель глинистый доломитовый	нет	41,0	0,28	-0,2	-3,1
257,0	–"	–"	28,6	0,29	0,5	-4,6
258,3	–"	–"	34,4	0,22	-0,7	-1,8
259,9	–"	1,5	39,1	0,25	-0,6	-4,2
260,1	Мергель доломитовый	нет	57,1	0,21	0,5	-4,3
260,5	Доломит глинистый известковый	18,7	58,3	0,21	1,7	-2,4
262,0	Глина доломитистая	нет	16,6	0,33	0,8	-6,0
262,8	Доломит известковый	24,3	71,3	0,16	1,4	-3,2
263,9	Доломит известковый глинистый	11,0	75,4	0,15	1,8	-2,0
Скв. Быховская						
180,3	Мергель глинистый	32,0	4,8	0,13	-12,1	-6,7
186,6	Глина известковая	10,9	2,0	0,06	-8,3	-6,4
188,5	Глина с линзами карбонатно-алевритового материала	0,4	4,8	0,38	-5,0	-0,8
193,8	Глина с линзами карбонатного материала	1,8	4,2	0,91	-7,8	-4,3
199,5	Глина с доломитовыми включениями	0,7	6,2	0,50	-6,9	-3,8
201,9	Доломит глинистый известковый	11,8	66,8	0,69	-2,6	-3,5
Скв. Кормянская						
192,7	Песчаник с карбонатным цементом	29,5	2,6	0,21	-4,0	-5,5
193,5	–"	28,4	2,8	0,17	-7,8	-5,3
Скв. Кормянская						
194,5	Песчаник с карбонатным цементом	29,5	4,2	0,15	-8,0	-5,1
204,7	Песок карбонатсодержащий	3,0	2,4	0,74	-3,2	-3,3
Скв. Приволье						
809,2	Мергель глинистый доломитовый	нет	29,3	0,53	0,2	-8,0
809,3	–"			0,60	0,4	-7,3
809,5	–"			0,41	-0,5	-7,2
815,0	Глина доломитистая	нет	12,3	0,51	-0,5	-6,9
815,2	–"			0,37	-0,9	-6,5
815,4	–"			0,53	-0,5	-6,4
Скв. ГГК-1						
354,9	Мергель доломитовый	нет	53,2	0,51	-3,0	-6,0
355,3	Глина доломитистая	0,3	14,7	0,16	-4,8	-1,9
355,5	Мергель доломитовый	1,4	62,3	0,19	-2,8	-4,2
356,6	–"	1,2	70,0	0,48	-2,6	-5,1
357,6	Доломит глинистый	1,2	85,9	0,40	-2,7	-4,6
358,3	–"	1,8	83,1	0,39	-2,7	-4,9
358,5	Мергель доломитовый	2,5	65,1	1,24	-2,6	-5,1
359,0	Мергель известково-доломитовый	24,9	43,4	0,14	-1,6	-2,1
359,5	Глина доломитистая	нет	21,7	0,10	-2,2	-1,2
360,0	–"	–"	13,5	0,14	-1,7	-0,7
360,6	Мергель глинистый доломитовый	0,7	35,7	0,13	-1,3	0,4
360,7	–"	0,4	35,3	0,15	-1,2	0,5
361,4	Глина доломитистая	нет	21,7	0,17	-1,5	0,6

Примечания: $\text{C}_{\text{орг}}$ – содержание органического углерода; пустые графы – нет данных.

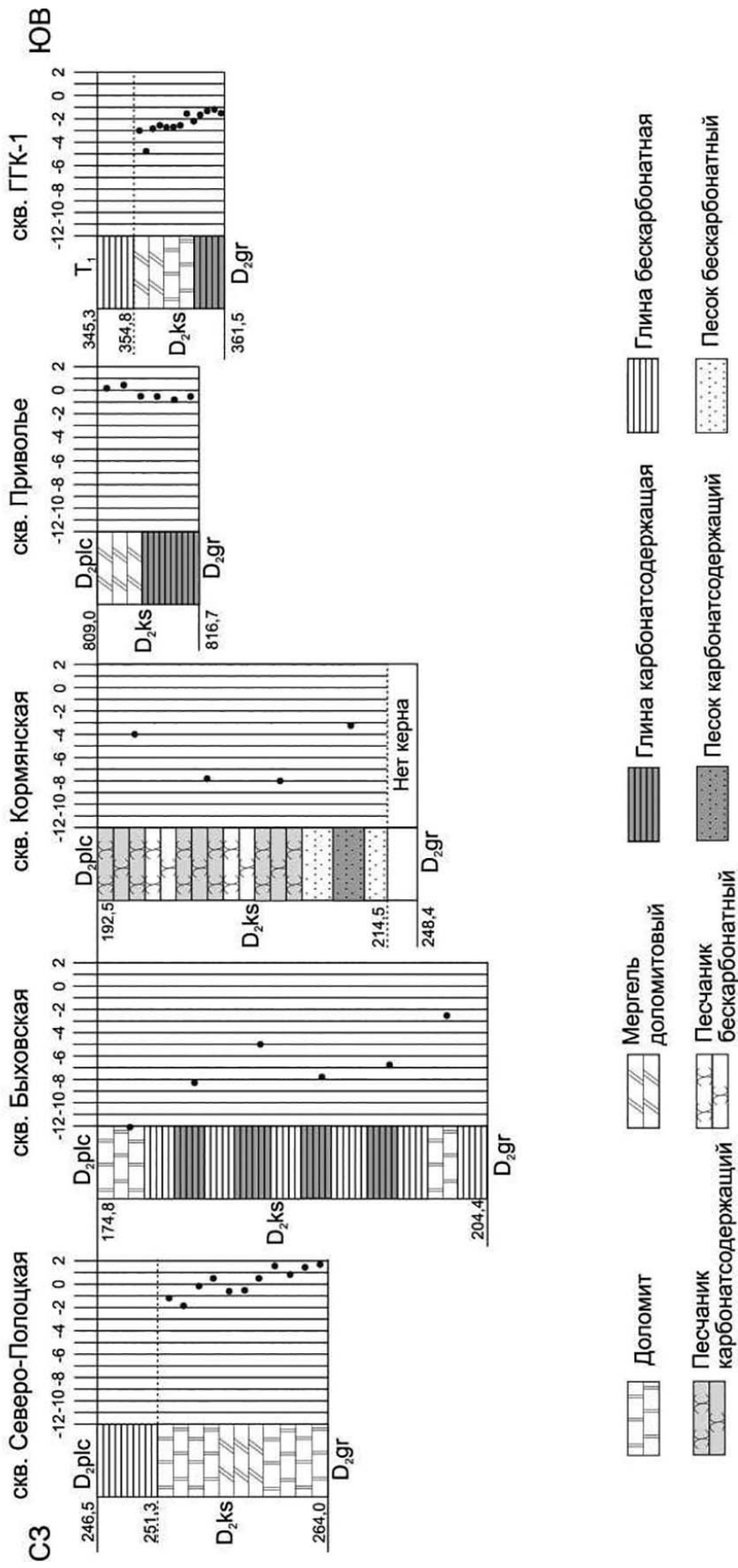


Рисунок 2 – Вариации изотопного состава углерода в отложениях костюковичского горизонта (D_{2ks}) верхнего эйфеля на территории Беларуси. D_{2gr} – городокский горизонт, D_{2plc} – полоцкий горизонт, T_1 – нижний триас; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы костюковичского горизонта и границы между исследованными и неисследованными интервалами (м)

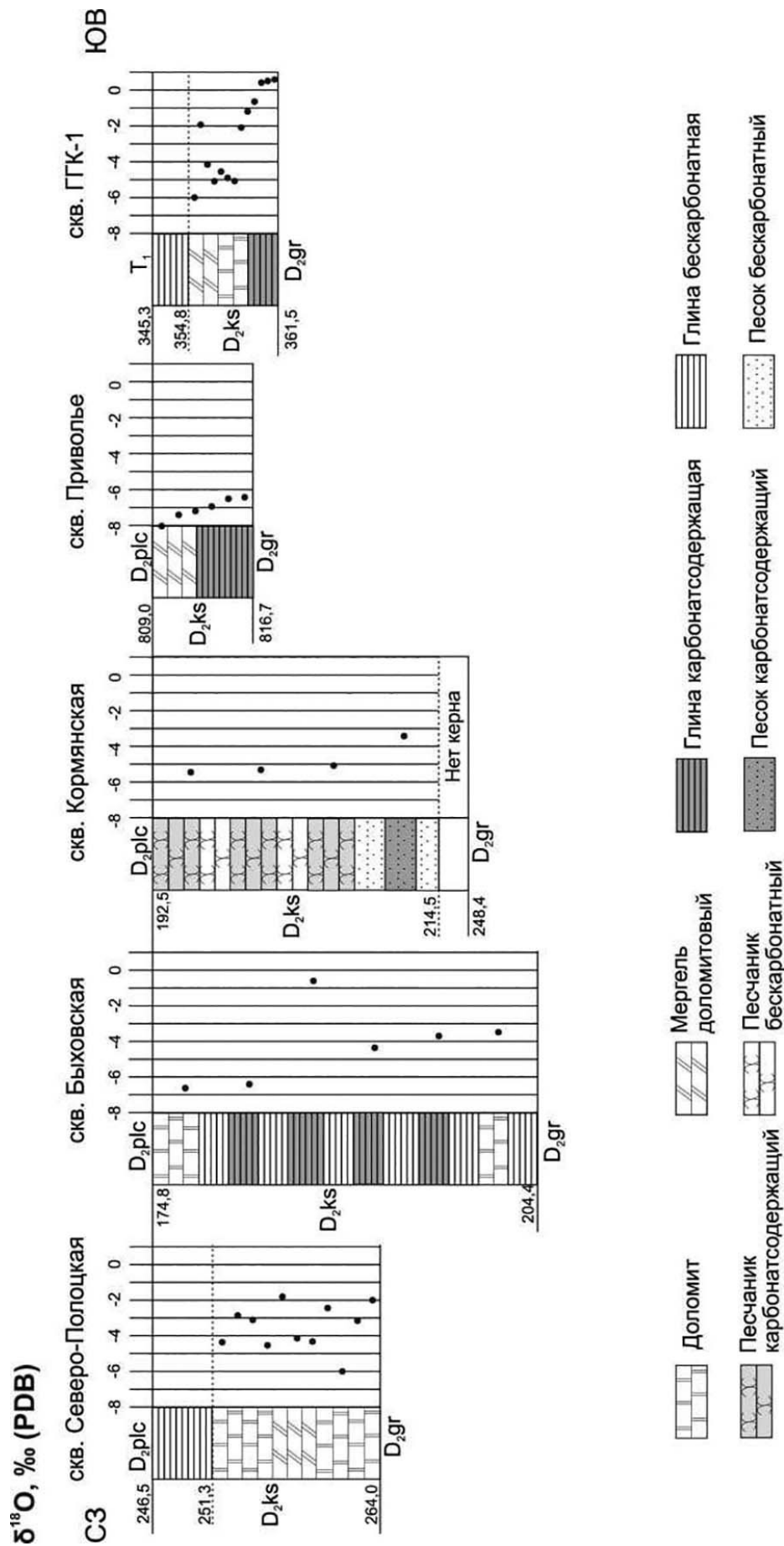


Рисунок 3 – Вариации изотопного состава кислорода в отложениях костюковичского горизонта (D₂ks) верхнего эйфеля на территории Беларуси. D₂gr – городокский горизонт, D₂plc – полоцкий горизонт, T₁ – нижний триас; цифры слева от графиков – глубины залегания кровли и подошвы костюковичского горизонта и границы между исследованными и неисследованными интервалами (м)

ГЕОХИМИЯ ИЗОТОПОВ

Толща костюковичских отложений в скв. Кормянская (192,6–248,4 м; мощность 55,9 м) представлена в основном терригенными породами: песчаниками, иногда с карбонатным цементом, песками, интервалами карбонатсодержащими, алевролитами, в меньшей степени глинами. Незначительная роль в разрезе принадлежит карбонатным породам.

Костюковичские образования в разрезе скв. Приволье залегают гораздо глубже (809,0–816,7 м), чем в остальных четырех разрезах, а мощность имеют самую небольшую (7,0 м). Они представлены серыми и бежево-коричневыми глинистыми доломитовыми мергелями и доломитистыми глинами.

Разрез костюковичского горизонта в скв. ГГК-1 (345,3–361,5 м) складывается из двух пачек. В нижней (6,7 м) преобладают буровато-серые и зеленовато-серые доломитовые мергели с прослоями доломитистых глин и глинистых доломитов. Верхняя пачка (9,5 м) представлена разноцветными бескарбонатными глинами.

Порядок и динамика изотопных показателей в разрезах скважин Северо-Полоцкая и ГГК-1 похожи (табл. 2, рис. 2, 3). Значения $\delta^{13}\text{C}$ здесь близки к нормально-морским, но имеется их небольшое снижение снизу вверх к границам с бескарбонатными интервалами. Это может свидетельствовать о постепенном усилении поступления в морской бассейн вод континентального стока, несущих изотопно-легкий почвенный углерод, что сопровождалось опреснением и в последующем привело к прекращению садки карбонатов. Данному предположению не противоречит и порядок величин $\delta^{18}\text{O}$, которые в основном соответствуют эйфельским значениям ($-4 \dots -2 \text{ ‰}$) на обобщенной хемотратиграфической кривой, построенной по результатам анализа раковин брахиопод из девонских отложений ряда районов мира [18–22].

Таблица 2 – Статистическое распределение изотопных показателей в отложениях костюковичского горизонта (верхний эйфель) Беларуси

Скважина	n	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)			$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)		
		x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}
Северо-Полоцкая	11	-1,9	1,8	0,2	-6,0	-1,8	-3,5
Быховская	6	-12,1	-2,6	-7,1	-6,7	-0,8	-4,3
Кормянская	4	-8,0	-3,2	-5,8	-5,5	-3,3	-4,8
Приволье	6	-0,9	0,4	-0,3	-8,0	-6,4	-7,1
ГГК-1	13	-4,8	-1,2	-2,4	-6,0	0,6	-2,6
Все скважины	40	-12,1	1,8	-2,4	-8,0	0,6	-4,0

Примечание: n – число определений, x_{\min} и x_{\max} – минимальное и максимальное значения, \bar{x} – среднее арифметическое.

В разрезе Приволье значения типично морские $\delta^{13}\text{C}$, в то время как $\delta^{18}\text{O}$ низкие и монотонно уменьшаются снизу вверх от $-6,4$ до $-8,0 \text{ ‰}$ (табл. 2, рис. 2, 3). Представляется, что такая комбинация цифр отражает изменение изотопной геохимии моря на временном отрезке эйфель – живет: «брахиоподовые» значения $\delta^{18}\text{O}$ быстро падают от эйфельского «плато» ($\sim -3 \text{ ‰}$) к минимуму в живете (-6 ‰ и менее) [18–22]. Высказанная трактовка распределения изотопов в костюковичском горизонте скв. Приволье подтверждается поведением $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в вышележащих живетских отложениях (полочкий горизонт) (рис. 4).

Для Быховского и Кормянского разрезов трактовка распределения изотопов может быть дана сугубо предположительно из-за низкого разрешения кривых.

В Быховском разрезе отмечается большой разброс значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ и их прямая корреляция (табл. 2, рис. 2, 3, 5), которая, вероятно, указывает на имевшую место постдиагенетическую переработку пород, сопровождавшуюся новообразованием карбонатов в среде инфильтрационных атмогенных вод

с изотопно-легкими кислородом и почвенным углеродом. Переработка могла осуществляться во время предположительно перерыва в осадконакоплении [14], на протяжении колоссального (около 215 млн лет) перерыва в осадконакоплении между живетским веком среднего девона и батским веком средней юры, а с учетом относительно небольшой глубины залегания здесь девонской толщ – вплоть до настоящего времени.

В костюковичском разрезе скв. Кормянская изотопный состав и углерода, и кислорода в карбонатсодержащем песке заметно тяжелее, чем в песчаниках с карбонатным цементом (табл. 1). Однако фактические данные очень непредставительны. Дополним их цифрами по залегающему выше полоцкому горизонту, которые тоже характеризуют карбонатсодержащие пески ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ соответственно $-0,6$ и $-2,8 \text{ ‰}$; $-1,3$ и $-5,1$; $-2,5$ и $-6,0$; $-0,6$ и $3,1 \text{ ‰}$) и песчаники ($-9,7$ и $-5,0 \text{ ‰}$). Средние значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ для костюковичско-полоцких песков составляют $-1,6$ и $-4,1 \text{ ‰}$, для песчаников – $-7,4$ и $-5,2 \text{ ‰}$ соответственно. Таким образом, распределение изотопов оказывается литологически (литофациально) обуслов-

ленным. Породы, без сомнения, были подвержены влиянию инфильтрационных вод во время предположительно перерыва в осадконакоплении [14], на протяжении большого перерыва между живетом и юрой, отложения которой перекрывают девонские в Кормянском разрезе, и сейчас остаются в сфере этого влияния. Представляется возможной следующая интерпретация распределения изотопов между песками и песчаниками. Первые были карбонатсодержащими осадками изначально. Их карбонатный материал нес (а в значительной степени и сейчас несет) изотопные сигналы ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) морской седиментации. Впо-

следствии в условиях инфильтрационного катагенеза (или гипергенеза) карбонатный материал этих песков в отдельных интервалах разреза был частично растворен и в ряде случаев дополнен новообразованиями, что сказалось на облегчении изотопного состава кислорода. Песчаники, по-видимому, первоначально были песчаными осадками, не содержащими или почти не содержащими карбонатного материала. В условиях инфильтрационного катагенеза они оказались сцементированными карбонатом, имеющим легкий изотопный состав углерода и кислорода.

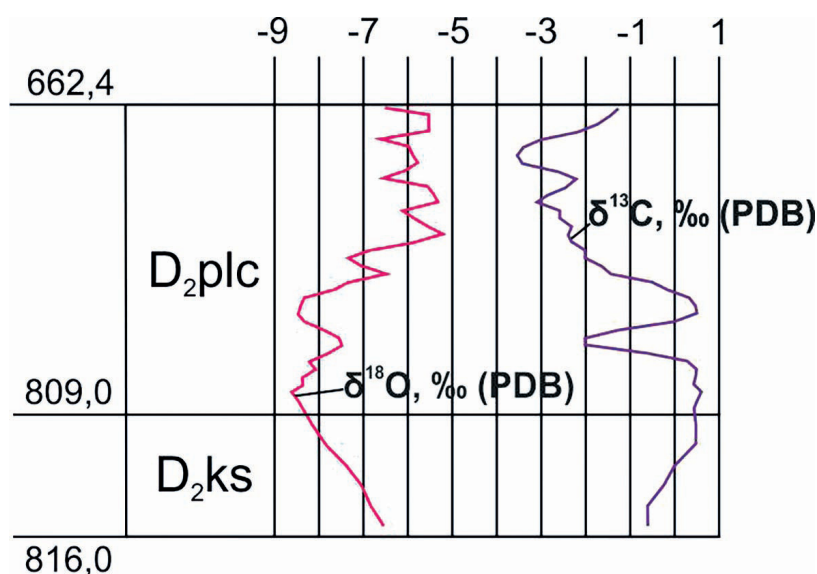


Рисунок 4 – Вариации изотопного состава кислорода и углерода, сглаженные методом скользящего среднего (шаг 3), в отложениях костюковичского горизонта (D_{2ks}) верхнего эйфеля и полоцкого горизонта (D_{2plc}) нижнего-среднего живета в разрезе параметрической скв. Приволье. Цифры слева – глубины залегания кровли и подошвы горизонтов (м); аналитический материал по полоцкому горизонту приведен в работе [9]

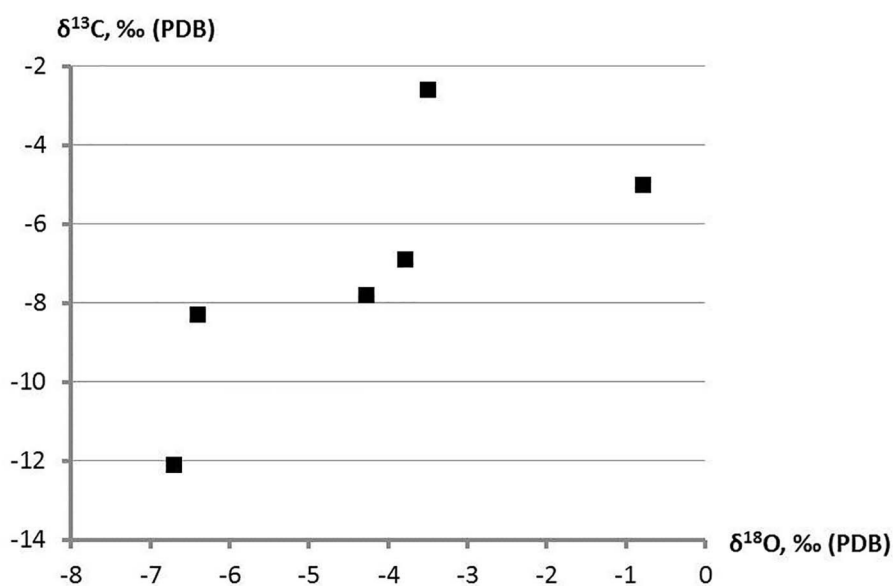


Рисунок 5 – Корреляционная диаграмма $\delta^{13}\text{C}$ – $\delta^{18}\text{O}$ для отложений костюковичского горизонта верхнего эйфеля в разрезе параметрической скв. Быховская

При интерпретации распределения изотопов в верхнеэйфельских разрезах мы не коснулись вопроса о возможной роли седиментационного или диагенетического окисления рассеянного органического вещества осадков в формировании изотопного состава углерода карбонатов [17]. Вряд ли она была сколько-нибудь существенной. Такой вывод можно сделать не столько на основании невысокого содержания $C_{орг}$ в породах (табл. 1, 3), которые,

в основном, относятся к разряду субдоманикоидов ($C_{орг}$ 0,1–0,5 %) [15], сколько с учетом отсутствия корреляции между $\delta^{13}C$ и $C_{орг}$ (рис. 6).

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы (подпрограмма 10.4 «Белорусские недра») и в соответствии с планом научно-исследовательских работ Геологического института РАН.

Таблица 3 – Распределение концентрации $C_{орг}$ (%) по типам пород костюковичского горизонта (верхний эйфель) Беларуси

Породы	n	x_{min}	x_{max}	\bar{x}
Скв. Северо-Полоцкая				
Глины	1			0,33
Мергели	5	0,21	0,29	0,25
Доломиты	5	0,15	0,21	0,17
Породы в целом	11	0,15	0,33	0,22
Скв. Быховская				
Глины	4	0,06	0,91	0,46
Мергели	1			0,13
Доломиты	1			0,69
Породы в целом	6	0,06	0,91	0,44
Скв. Кормянская				
Песчаники, пески	4	0,15	0,74	0,32
Скв. Приволье				
Глины	3	0,37	0,53	0,47
Мергели	3	0,41	0,60	0,51
Породы в целом	6	0,37	0,60	0,49
Скв. ГГК-1				
Глины	4	0,10	0,17	0,14
Мергели	7	0,13	1,24	0,41
Доломиты	2	0,39	0,40	0,40
Породы в целом	13	0,10	1,24	0,32
Все пять скважин				
Глины	12	0,06	0,91	0,35
Мергели	16	0,13	1,24	0,40
Доломиты	8	0,15	0,69	0,29
Песчаники, пески	4	0,15	0,74	0,32
Породы в целом	40	0,06	1,24	0,36

Примечания: n – число определений, x_{min} и x_{max} – минимальное и максимальное значения, \bar{x} – среднее арифметическое; в графе \bar{x} курсивом даны единичные определения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты интерпретации распределения значений $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ в карбонатсодержащих отложениях верхнего эйфеля (костюковичский горизонт) на территории Беларуси сводятся к следующему.

1. В разрезах параметрической скв. Северо-Полоцкая (юго-восток Латвийской седловины) и картировочной скв. ГГК-1 (юго-западный край

Воронежской антеклизы) значения $\delta^{18}O$ в основном соответствуют цифрам, характерным для моря эйфельского века (–4...–2 ‰). Величины $\delta^{13}C$ также близки к нормально-морским, но несколько снижаются снизу вверх к границам с завершающими разрезы бескарбонатными интервалами, что указывает на постепенное усиление поступления в морской бассейн вод континентального стока перед прекращением садки карбонатов.

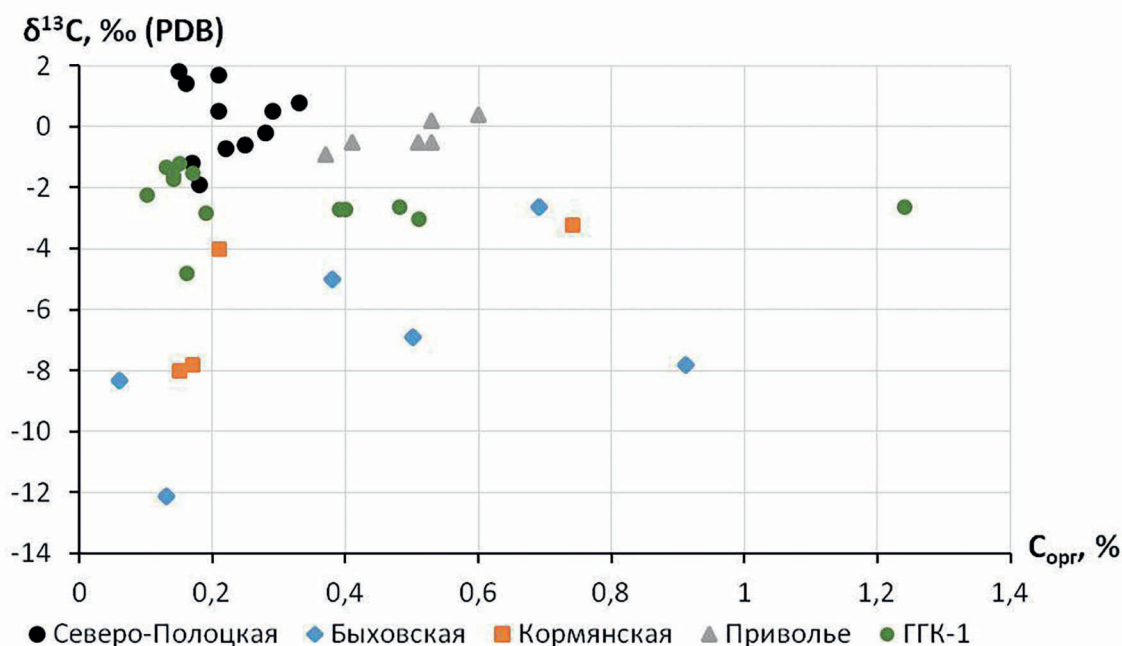


Рисунок 6 – Корреляционная диаграмма $\delta^{13}\text{C}-\text{C}_{\text{орг}}$ для отложений костюковичского горизонта верхнего эйфеля Беларуси

2. В верхнеэйфельских отложениях, вскрытых параметрической скв. Приволье (Северо-Припятское плечо), значения $\delta^{13}\text{C}$ типично морские, а $\delta^{18}\text{O}$ низкие, монотонно уменьшающиеся вверх к границе с живецкими образованиями от $-6,4$ до $-8,0$ ‰. Такое сочетание изотопных показателей, вероятно, отражает изотопно-геохимическую эволюцию среднедевонского моря и согласуется с быстрым падением величин $\delta^{18}\text{O}$ в раковинах брахиопод от эйфеля (~ -3 ‰) к живету (-6 ‰ и менее), отмеченным в ряде районов мира.

3. В разрезах параметрических скважин Быховская (зона сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины) и Кормянская (Жлобинская седловина) значительный разброс значений $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, вероятно, обусловлен преобразованиями отложений в среде инфильтрационных атмогенных вод. Эти преобразования представляли собой сочетание частичного растворения исходного седиментационного материала и кристаллизацию изотопно-легких катагенетических (или гипергенных) карбонатных фаз.

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 ниже-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 эмских 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. **Девон** Воронежской антеклизы и Московской синеклизы / Г. Д. Родионова [и др.]. – М. : Изд-во Воронежского ун-та, 1995. – 265 с.
6. **Девон** и карбон Прибалтики / В. С. Сорокин [и др.]. – Рига: Зинатне, 1981. – 502 с.
7. **Изотопная** хемотратиграфия верхнеэмско-среднеэйфельских отложений в разрезе параметрической скважины Кормянская на Жлобинской седловине / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 2 (51). – С. 64–74.
8. **Изотопная** хемотратиграфия ниже-среднедевонского разреза зоны сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины (параметрическая скважина Быховская) / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 136–148.

9. **Махнач, А. А.** Вариации изотопного состава углерода и кислорода в эмско-франских отложениях Северо-Припятского плеча (юго-восток Беларуси) / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 101–115.
10. **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.
11. **Махнач, А. А.** Изотопы углерода и кислорода в отложениях пограничных горизонтов нижнего и среднего девона Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 83–101.
12. **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.
13. **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.
14. **Обуховская, В. Ю.** Седиментологические и биотические события в девоне на территории Жлобинской седловины и Северо-Припятского плеча и их палинологические маркеры / В. Ю. Обуховская, Т. Г. Обуховская, С. А. Кручек // Літасфера. – 2012 – № 1 (36). – С. 31–46.
15. **Систематика** и классификации осадочных пород и их аналогов / В. Н. Шванов [и др.]. – СПб. : Недра, 1998. – 352 с.
16. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : ГП «БелНИГРИ», 2010. – 282 с.
17. **Фор, Г.** Основы изотопной геологии: пер. с англ. / Г. Фор. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
18. **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. – Vol. 1. – P. 181–206.
19. **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. – Vol. 1. – P. 279–307.
20. **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. – № 93 (4). – P. 542–553.
21. **Van Geldern, R.** Carbon, oxygen and strontium isotope records of Devonian brachiopod shell calcite / R. van Geldern // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2006. – № 240 (1–2). – P. 47–67.
22. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater / J. Veizer [et al.] // Chemical Geology. – 1999. – № 161 (1–3). – P. 59–88.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 02.11.2023

Рэцэнзент У. М. Шымановіч

ІЗАТОПИ ВУГЛЯРОДУ І КІСЛАРОДУ Ў ВЕРХНЯЭЙФЕЛЬСКИХ АДКЛАДАХ 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, Масква, Расія
E-mail: pokrov@ginras.ru

Прыведзены вынікі вывучэння размеркавання значэнняў $\delta^{13}\text{C}$ і $\delta^{18}\text{O}$ у карбанатутрымліваючых адкладах верхняга эйфеля (касцюковіцкі гарызонт) на тэрыторыі Беларусі. Спалучэнне ізатопных паказчыкаў у разрэзе свідравіны Прыволле (Паўночна-Прыпяцкае плячо) праінтэрпрэтавана як адлюстраванне геахімічнай эвалюцыі сярэднедевонскага мора на рубяжы эйфель – жывет. Устаноўлены ізатопныя сігналы актывізацыі паступлення ў марскі басейн вод кантынентальнага сцёку (свідравіны Паўночна-Полацкая на паўднёвым усходзе Латвійскай седлавіны і ГТК-1 на паўднёва-заходнім краі Варонежскай антэклізы) і постдыягенетычнага пераўтварэння адкладаў у асяроддзі інфільтрацыйных атмагенных вод (свідравіны Быхаўская ў зоне сучалення Аршанскай упадзіны і Жлобінскай седлавіны і Кармянская на Жлобінскай седлавіне).

Ключавыя словы: Беларусь, верхні эйфель, касцюковіцкі гарызонт, карбанатутрымліваючыя адклады, ізатопы вугляроду, ізатопы кіслароду.

CARBON AND OXYGEN ISOTOPES IN THE UPPER EIFEIAN DEPOSITS OF 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 results of study of the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values distribution in carbonate containing deposits of the Upper Eifelian (the Kostyukovich horizon) on the territory of Belarus are adduced. The combination of isotopic values in the Privolje borehole geological section (the North Pripyat Shoulder) has been interpreted as a reflection of the Middle Devonian sea water geochemical evolution at the Eifelian-Zhivetian border. The isotopic signals of activation of the continental water inflow into the sea basin (the North-Polotsk borehole in the southeast of the Latvian Saddle and the GGK-1 borehole in the southwestern edge of the Voronezh Antecline) as well as evidence of the deposits postdiagenetic alterations in the infiltration atmogenic water environment (the Bykhov borehole within the conjugation zone of the Orsha Depression and Zhlobin Saddle and the Korma borehole in the Zhlobin Saddle) have been revealed.

Keywords: Belarus, Upper Eifelian, Kostyukovich horizon, carbonate-containing sediments, carbon isotopes, oxygen isotopes.

УДК 551.464.6.02; 551.734.2; 551.734.3 (476–11)

С-, О-, S-ИЗОТОПНАЯ ХЕМОСТРАТИГРАФИЯ НИЖНЕ- И СРЕДНЕДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ ОРШАНСКОЙ ВПАДИНЫ И ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ (ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ СКВАЖИНА КЛИМОВИЧСКАЯ)

А. А. Махнач¹, Б. Г. Покровский², Г. Д. Стрельцова¹, А. Г. Лапцевич¹, О. В. Мурашко¹¹Государственное 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

Статья посвящена результатам изотопно-хемостратиграфического исследования отложений ниже-среднедевонского разреза параметрической скважины Климовичская в зоне сочленения Оршанской впадины и Воронежской антеклизы. Изучались изотопы углерода и кислорода в карбонатах и серы в гипсе. Витебский горизонт верхнего эмса, доломитовая и глинисто-мергельная пачки городокского горизонта среднего эйфеля характеризуются нормально-морскими $\delta^{13}\text{C}$. Адровский и освейский горизонты ниже-го эйфеля и доломитово-мергельная пачка городокского горизонта отличаются большими флуктуациями $\delta^{13}\text{C}$ (от морских до $-11,6\text{‰}$), что связано с вариациями интенсивности притока континентальных вод в морской бассейн при его обмелении, сопровождавшемся образованием сульфатных осадков. Величины $\delta^{18}\text{O}$ во всем ниже-среднедевонском разрезе попадают в диапазон (-4‰ – -2‰), характерный для морских карбонатов верхнего эмса – эйфеля, что обусловлено приэкваториальным положением территории Беларуси в девоне и не противоречит генетическим выводам, сделанным при анализе динамики $\delta^{13}\text{C}$. На кривой вариаций $\delta^{34}\text{S}$ гипса отчетливо выделяются два интервала: нижний (карбонатно-сульфатная пачка освейского горизонта, адровский и витебский горизонты, а также нижний венд) с более низкими значениями $\delta^{34}\text{S}$ (в среднем $18,2\text{‰}$) и верхний (доломитово-мергельные пачки городокского и освейского горизонтов) с более высокими значениями (в среднем $21,7\text{‰}$). Это обусловлено разным долевым участием вод суши с изотопно-легкой континентальной серой в составе гипсообразующих эвапоритовых рассолов (большим для нижней части разреза, чем для верхней) и согласуется с поведением $\delta^{13}\text{C}$.

Ключевые слова: изотопы углерода, кислорода и серы, нижний и средний девон, Оршанская впадина, Воронежская антеклиза.

ВВЕДЕНИЕ

В 2019–2022 гг. нами опубликованы результаты изотопно-хемостратиграфического изучения ниже- и среднедевонских отложений Беларуси в разрезах пяти скважин. Это параметрические скважины Северо-Полоцкая в юго-восточной части Латвийской седловины [2], Быховская в зоне сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины [7; 10], Кормянская на Жлобинской седловине [6; 10], Приволье на Северо-Припятском плече [9], а также скв. ГГК-1, пробуренная в рамках программы глубинного геологического картирования на юго-западе Воронежской антеклизы [1] (рис. 1).

Настоящая статья продолжает серию публикаций по указанной проблематике и содержит результаты изучения разреза параметрической скв. Климовичская, пробуренной на крайнем востоке Беларуси в зоне сочленения Оршанской впадины и Воронежской антеклизы (см. рис. 1).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Вовлеченный в работу каменный материал охватывал около 140 м ниже-среднедевонского разреза скв. Климовичская в стратиграфическом диапазоне верхний эмс – средний эйфель и включал 87 образцов карбонатных и карбонатсодержащих пород, использованных для определений изотопного состава углерода и кислорода (табл. 1). Один проанализированный образец характеризовал в среднем 1,6 м разреза, в том числе 3,4 м для витебского горизонта (верхний эмс), 1,3 м – адровского (нижний эйфель), 1,4 м – освейского (нижний эйфель), 1,3 м – городокского (средний эйфель). Худшее разрешение углеродно- и кислородно-изотопных кривых для эмской части разреза, чем для эйфельской, связано с наличием в первой интервалов бескарбонатных пород. Довольно значительная распространенность в разрезе скважины карбонатно-сульфатных пород и гипсовых проявлений позволила отобрать 34 образца для изотопного анализа серы, в том числе 3 из подстилающих девонские вендских отложений.

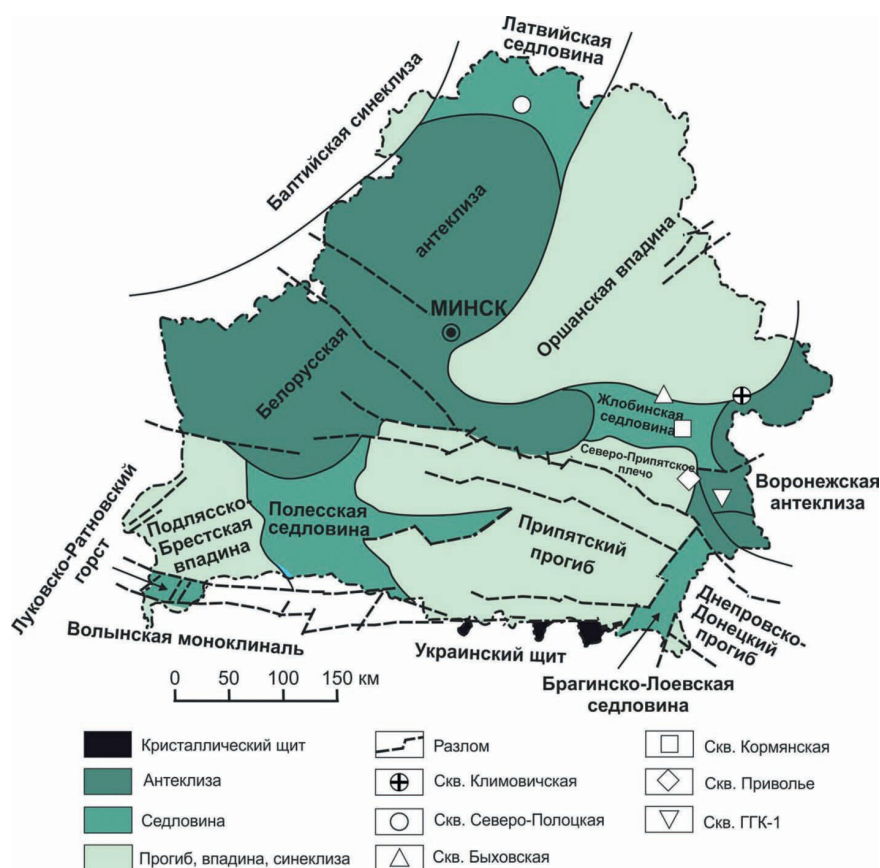


Рисунок 1 – Параметрическая скважина Климовичская и ранее изученные скважины на схеме тектонического районирования территории Беларуси [3]

Таблица 1 – Изотопный состав углерода и кислорода в карбонатах и серы в гипсе средне-нижнедевонских и вендских отложений в разрезе скважины Климовичская

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)	$\delta^{34}\text{S}$, ‰ (CDT)
Средний девон, средний эйфель, городокский горизонт, глинисто-мергельная пачка							
359,1	Доломит глинистый известковый	14,6	62,8	0,27	-2,7	-1,9	
359,3	Мергель известково-доломитовый	6,7	53,6	0,30	-2,2	-2,2	
360,0	Глина доломитистая	нет	14,7	0,29	-2,1	-3,0	
362,5	—»—	—»—	24,3	0,18	-2,3	-2,2	
363,2	—»—	—»—	16,2	0,16	-2,3	-2,3	
364,0	Доломит известковый	43,8	50,9	0,19	-3,5	-0,7	
364,6	Мергель глинистый доломитовый	нет	27,1	0,18	-2,2	-1,3	
366,2	Глинисто-известково-доломитовая порода	35,6	51,8	0,20	-1,7	-0,3	
369,5	Доломит известковый	26,6	68,5	0,13	-1,4	-0,8	
371,8	Мергель известково-доломитовый	8,5	49,4	0,16	-2,2	-1,1	
372,1	Доломит известковый	7,4	92,0	0,20	-1,2	-1,3	
372,3	Доломит глинистый	4,0	89,6	0,30	-1,1	-3,2	
372,4	Доломит известковый	15,2	80,5	0,24	-0,9	-3,7	
374,0	Доломит глинистый	3,5	91,1	0,18	0,4	0,3	
374,5	—»—	1,0	78,2	0,13	-0,7	-1,5	
378,0	Мергель доломитовый	5,5	64,2	0,17	-0,7	-1,4	
379,0	—»—	нет	73,4	0,28	-0,5	-1,8	
379,8	Доломит известковый	22,8	74,7	0,16	-0,6	-1,6	
380,6	Мергель известково-доломитовый	8,4	49,5	0,59	0,3	-1,7	
381,5	Мергель доломитовый	4,8	49,9	0,40	-0,9	-3,7	

Продолжение табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)	$\delta^{34}\text{S}$, ‰ (CDT)
Средний девон, средний эйфель, городокский горизонт, доломитовая пачка							
384,4	Доломит глинистый известковый	10,6	78,9	0,31	-1,5	-4,5	
384,8	Мергель доломитовый с сульфидами в кавернах	1,5	53,0	2,27	-2,7	-2,5	
385,0	Доломит известковый с сульфидами в кавернах	19,9	80,1	0,26	-2,6	-1,3	
386,3	Доломит известковый	27,8	72,2	0,16	-3,1	-2,4	
386,6	Доломит глинистый сильнокавернозный	0,9	93,4	0,54	-4,3	-1,6	
387,2	Доломит известковый с крупными кавернами	45,0	48,5	0,15	-3,5	-1,4	
387,9	Доломит известковый	22,7	77,3	1,76	-3,7	-1,5	
388,3	- // -	14,2	84,6	1,37	-4,1	-3,2	
388,5	Доломит известковый кавернозный	27,1	72,9	0,50	-4,0	-2,7	
388,6	Доломит известковый кавернозный	6,9	93,1	0,46	-3,2	-1,3	
389,5	- // -	6,4	93,6	0,69	-3,2	-3,1	
390,0	Доломит			0,32	-3,0	-1,5	
Средний девон, средний эйфель, городокский горизонт, доломитово-мергельная пачка							
391,1	Доломит глинистый брекчированный	0,6	78,1	0,51	-4,1	-1,6	
391,3	Доломит известковый	26,1	71,1	1,28	-6,1	-2,1	
391,7	Доломит глинистый известковый	8,2	71,3	0,60	-3,5	-3,4	
391,7	Крупные гнезда шпатового гипса в доломите						21,7
391,8	Доломит глинистый	нет	78,2	0,41	1,0	-3,5	
391,8	Прожилки гипса в доломите						21,4
392,9	Прожилки гипса в мергеле						21,5
393,3	Карбонатно-сульфатная порода						21,7
394,0	Доломит глинистый	0,8	93,1	0,24	-2,5	-1,9	
395,0	- // -	нет	86,8	0,98	-1,7	-2,1	
395,5	Карбонатно-сульфатная порода						20,6
395,9	Глина доломитистая	нет	8,3	0,65	-5,4	-3,6	
397,0	- // -	- // -	13,5	4,28	-6,2	-1,8	
397,2	Доломит глинистый	3,0	78,3	0,25	-5,5	-1,8	
399,3	Мергель глинистый доломитовый	1,6	28,0	0,96	-5,5	-2,6	
399,3	Прожилки гипса-селенита в мергеле						22,6
399,6	Доломит глинистый	нет	83,6	0,28	-5,0	-1,8	
399,6	Прожилки гипса-селенита в доломите						23,0
401,3	Мергель глинистый доломитовый	нет	39,4	1,25	-5,1	-2,1	
402,1	Мергель известково-доломитовый	7,5	62,3	1,01	-6,3	-1,9	
402,7	Прожилки гипса в слоистой карбонатно-сульфатной породе						24,7
404,2	Мергель доломитовый с мелкими гнездами шпатового гипса	3,4	59,2	0,64	-7,8	-1,9	21,2
413,3	Мергель глинистый доломитовый	нет	46,9	0,42	-3,0	-1,4	
418,7	Прожилки гипса в мергеле						21,7
419,8	Мергель глинистый доломитовый	- // -	39,4	0,20	-2,0	-1,5	
421,6	Глина доломитистая	- // -	8,7	0,31	-1,0	-3,3	
Средний девон, нижний эйфель, освейский горизонт, доломитово-мергельная пачка							
423,0	Песчано-доломитовая порода с примесью гипса	0,2	42,5	0,12	-1,1	-3,3	
424,2	Мергель глинистый доломитовый	нет	25,2	0,25	-0,4	-2,9	
425,0	Глина доломитистая	- // -	8,8	0,24	-0,8	-3,0	
426,5	Песчано-доломитовая порода	4,4	75,6	0,10	-1,1	0,0	
428,5	Доломит глинистый	2,2	86,2	0,18	-0,4	-3,3	
430,1	Доломит глинистый с прожилками гипса	2,5	82,4	0,19	-3,5	-1,7	22,3
430,4	Мергель доломитово-известковый с мелкими гнездами гипса	41,1	17,2	1,24	-4,3	-5,2	
431,5	Глина доломитистая	нет	20,1	0,87	-3,2	-1,0	
431,9	Песчаник с доломитовым и гипсовым цементом	- // -	15,0	0,38	-3,2	-0,6	
432,1	- // -	- // -	17,5	0,07	-4,2	-4,3	21,6
432,8	Доломит глинистый	3,4	75,4	0,62	-3,9	-2,4	
433,7	Прожилки гипса в мергеле						21,6

Окончание табл. 1

Глубина, м	Литология	Кальцит, %	Доломит, %	C _{орг} , %	$\delta^{13}\text{C}$, ‰ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}$, ‰ (PDB)	$\delta^{34}\text{S}$, ‰ (CDT)
434,3	Мергель глинистый известкисто- доломитовый	7,0	21,0	0,98	-11,5	-1,8	
434,3	Прожилок гипса в мергеле						21,7
438,3	Мергель глинистый доломитовый	1,0	48,3	0,41	-8,9	-2,5	
439,3	Мергель известкисто-доломитовый	6,9	52,8	1,10	-11,6	-2,2	
439,3	Прожилок гипса в мергеле						18,9
441,0	Гипс в глине						20,8
441,2	Мергель глинистый доломитовый	3,7	37,7	1,22	-9,6	-2,4	
Средний девон, нижний эйфель, освейский горизонт, карбонатно-сульфатная пачка							
444,5	Полосчатая карбонатно-сульфатная порода						18,0
444,5	Мергель глинистый доломитовый	нет	36,8	0,58	-6,4	-4,1	
445,0	Доломит глинистый	4,2	86,4	0,65	-5,1	-3,7	
446,0	Прожилок гипса в глине						20,4
446,0	Глина доломитистая	нет	11,8	0,77	-6,5	-3,9	
448,0	Сульфатная порода (гипс с примесью ангидрита)						18,1
448,4	– // –						18,2
448,6	Известняк доломитистый глинистый	62,5	18,8	0,34	-4,9	-6,0	
448,8	Мергель глинистый доломитовый опесчаненный	3,9	40,0	0,11	-1,3	-6,0	
Средний девон, нижний эйфель, адровский горизонт							
452,4	Глина доломитистая	нет	18,1	0,36	-2,4	-3,7	
452,5	Доломито-известково-гипсовая порода	45,1	12,1	1,15	-4,1	-5,3	20,8
454,5	Доломит известковистый оолитовый с пойкилитовым гипсовым цементом	21,2	70,3	0,08	-0,6	-0,4	
455,0	Песчано-карбонатная порода			0,11	-0,3	-1,2	
455,5	Доломит известковый	31,8	68,2	0,11	-1,4	-1,3	
456,9	Доломит известковистый оолитовый	22,3	74,7	0,17	-1,2	-1,8	
Нижний девон, верхний эмс, витебский горизонт, лепельские слои							
458,0	Глина доломитистая	нет	12,4	0,53	-1,2	-1,3	
458,3	Доломит известковый глинистый	31,2	44,5	0,80	-2,3	-1,2	
459,5	Глина доломитистая	3,8	11,9	0,45	-2,3	-1,4	
462,0	Мергель глинистый известкисто- доломитовый	5,4	21,8	0,32	-2,2	-1,3	
464,5	Глина известкисто-доломитистая	9,1	13,0	0,32	-2,8	-1,1	
465,7	Глина доломитистая	нет	23,6	0,22	-2,4	-0,5	
465,7	Гипсовое включение в мергеле						18,2
466,5	Песчаник с глинисто-гипсовым цементом						17,2
466,6	Песчаник с гипсовым цементом						17,0
469,0	– // –						16,6
469,9	Песчаник с включением гипса						18,0
472,5	Доломит известковистый	21,0	79,0	0,15	-2,0	-0,5	
477,0	Доломит известковый глинистый кавернозный	43,8	46,4	0,08	-3,1	-1,8	
Нижний девон, верхний эмс, витебский горизонт, обольские слои							
488,4	Песчаник с гипсовым цементом						18,0
489,6	Прожилок гипса в песчанике						19,4
489,8	Гнездо гипса в песчанике						19,3
489,9	Мергель глинистый доломитовый	нет	23,6	0,40	-5,5	-4,5	
490,5	Песчаник с гипсовым цементом						16,7
491,0	Гнездо доломита в песчанике	нет	24,0	0,25	-5,4	-3,4	
491,4	Желваки доломита в глине	– // –	20,6	0,64	-3,9	-1,1	
496,1	Доломит известковистый глинистый	9,8	76,2	0,14	-5,2	-3,2	
497,9	Песчаник с гипсовым цементом						17,0
Нижний венд, воынская серия							
511,8	Песчаник с гипсовым цементом						17,8
Нижний венд, вильчанская серия							
513,1	Гипсовое включение в глине						18,6
515,5	Прожилок гипса в глине						19,3

Примечание: C_{орг} – содержание органического углерода; пустые графы – нет данных.

Изотопные измерения производились в лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН (Москва) на масс-спектрометре Delta V Advanced с использованием установки Gas-Bench-I (изотопы углерода и кислорода) и элементного анализатора Flash EA (изотопы серы). Значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ даны относительно стандарта PDB, $\delta^{34}\text{S}$ – стандарта CDT. Точность (воспроизводимость) определений $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{34}\text{S}$ находится в пределах $2,0 \pm \text{‰}$, $1,0 \pm \text{‰}$ и $3,0 \pm \text{‰}$ соответственно.

Вспомогательное значение для работы имели определения карбонатности пород газометрическим методом и содержание органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$) оксидометрическим, выполненные в Институте геологии (Минск) Г. И. Лучиной.

ЛИТОЛОГИЯ

Литостратиграфическое расчленение отложений разреза выполнено в соответствии со стратиграфической схемой девонских отложений Беларуси [14].

Изучавшаяся часть ниже-среднедевонского разреза скв. Климовичская залегает на глубинах 359,0–498,0 м и охватывает, как уже было сказано выше, стратиграфический диапазон от витебского горизонта верхнего эмса до городокского горизонта среднего эйфеля включительно (рис. 2). Этот интервал перекрывается некарбонатными и слабокарбонатными и не пригодными для изотопных определений глинами костюковичского горизонта верхнего эйфеля и подстилается вулканогенно-осадочными (волынская серия) и терригенными ледниковыми (вильчанская серия) образованиями нижнего венда.

Начинающие девонский разрез отложения витебского горизонта имеют мощность 41,0 м и состоят из обольских (нижних) и лепельских слоев. Обольские слои мощностью 12,2 м представлены ритмичным переслаиванием серых и бежевых песчаников и зеленовато-серых глин. Песчаники разнотекстурированные, полевошпатово-кварцевые и кварцевые с доломитовым, глинисто-доломитовым и гипсовым цементом. В глинах встречаются гнезда и прожилки оранжевого гипса. На нескольких уровнях отмечаются маломощные прослои пелитоморфных строматолитовых доломитов.

Лепельские слои (мощность 28,8 м) сложены неритмичным переслаиванием зелено-серых и серых песчаников, равномерно- или пятнистоокрашенных в зелено-, лилово- и бежево-серые цвета доломитистых («яшмовидных») глин, а также зелено-серых опесчаненных доломитовых мергелей и доломитов. Песчаники разнотекстурированные полевошпатово-кварцевые и кварцевые, с гипсом и доломитом

в составе цемента, интервалами – с глинистым цементом. Глины местами содержат включения гипса. Отмечаются прослои кремевых и кремво-белых доломитов пелитоморфных и микрокристаллических строматолитовых, местами мелкокавернозных оолитовых.

Основание залегающей выше толщи нижеэйфельского подъяруса сложено породами адровского горизонта (мощность 8,0 м). Это серые пелитоморфные и оолитовые, местами кавернозные с гипсовым цементом доломиты, зеленовато-серые доломитистые глины и карбонатно-сульфатные породы с тонким срастанием карбонатного и волокнистого гипсового агрегатов.

Верхний горизонт нижеэйфельской толщи – освейский – имеет мощность 27,0 м и подразделяется на карбонатно-сульфатную (нижнюю) и доломитово-мергельную пачки. Карбонатно-сульфатная пачка (7,4 м) представлена серыми, зеленовато- и светло-серыми глинисто-доломитовыми породами, нередко с субвертикальными прожилками розового гипса, а также карбонатно-сульфатными (глинисто-доломитово-гипсовыми) породами. В последних гипс входит в состав матрикса или концентрируется в прожилках, придающих породам слоисто-полосчатую текстуру с углом наклона слоев от 30 до 60° к оси керна. Гипс представлен мелкозернистыми (сахаровидными) и тонковолокнистыми (селенит) светло-серыми агрегатами и крупнокристаллическими (шпатовыми) розетковидными агрегатами коричнево-серого цвета.

Верхняя, доломитово-мергельная, пачка освейского горизонта, имеющая мощность 19,6 м, представлена серыми, зеленовато- и коричневатосерыми доломитистыми глинами, доломитовыми мергелями с линзами зернистого и тонковолокнистого гипса и пелитоморфными доломитами с включениями гипса и многочисленными субгоризонтальными и субвертикальными прожилками розового, коричневатого и светло-серого гипсаселенита. В верхней части пачки имеются прослои песчано-доломитовых пород с примесью гипса и бежево-серых песчаников разнотекстурированных, полевошпатово-кварцевых с пороново-базальным пойкитовым гипсовым цементом.

Лежащие выше отложения городокского горизонта среднего эйфеля мощностью 63,0 м снизу вверх подразделяются на три пачки: доломитово-мергельную (мощность 31,0 м), доломитовую (6,7 м) и глинисто-мергельную (25,3). Нижняя пачка сложена, главным образом, серыми, светло- и коричневатосерыми доломитами и доломитовыми мергелями, нередко с прожилками гипса, а также гипсовыми и карбонатно-гипсовыми породами, образующими несколько пластовых тел.

Отмечаются прослои доломитистых глин. Доломитовая пачка представлена преимущественно серыми и бежево-серыми доломитами слоистыми, пелитоморфно-микрористаллическими, кавернозными, в меньшей степени доломитовыми мергелями. В породах встречаются сульфидные выделения. Верхняя, глинисто-мергельная, пачка образована грубым переслаиванием серых и зеленовато-серых доломитовых мергелей, доломитов и красно-бурых и зеленовато-серых доломитистых глин.

Поскольку на формирование изотопного состава углерода и серы могут оказывать влияние процессы окисления/восстановления органического

вещества (ОВ) [15], дадим краткую характеристику распределения содержания C_{org} в породах нашего разреза. По средним для горизонтов, пачек и слоев значениям этого компонента отложения почти во всех случаях занимают граничное положение между категориями субдоманикоидов (0,1–0,5 %) и доманикоидов (0,5–5,0 %) [13] (табл. 2). При этом в глинисто-мергельной пачке городокского горизонта, в адровском и витебском горизонтах преобладают субдоманикоиды, в доломитовой и доломитово-мергельной пачках городокского горизонта и в освейском горизонте субдоманикоидов и «бедных» доманикоидов примерно поровну.

Таблица 2 – Статистическая характеристика распределения содержания C_{org} (%) в ниже-среднедевонских отложениях разреза скважины Климовичская

Стратиграфическая (литологическая единица)	n	x_{min}	x_{max}	\bar{x}
Городокский горизонт	49	0,13	4,28	0,57
В том числе:				
глинисто-мергельная пачка	20	0,13	0,59	0,24
доломитовая пачка	12	0,15	2,27	0,73
доломитово-мергельная пачка	17	0,20	4,28	0,84
Освейский горизонт	20	0,07	1,24	0,52
В том числе:				
доломитово-мергельная пачка	15	0,07	1,24	0,53
карбонатно-сульфатная пачка	5	0,11	0,77	0,49
Адровский горизонт	6	0,08	1,15	0,33
Витебский горизонт	12	0,08	0,80	0,36
В том числе:				
лепельские слои	8	0,08	0,80	0,36
обольские слои	4	0,14	0,64	0,36

Примечание: n – число определений, x_{min} и x_{max} – минимальное и максимальное значения, \bar{x} – среднее арифметическое.

ГЕОХИМИЯ ИЗОТОПОВ

Изотопы углерода. Диапазон вариаций $\delta^{13}C$ в карбонатном материале эмско-среднеэфельских отложений Климовичского разреза весьма велик (см. табл. 1). Наряду со значениями, свойственными нормально-морским карбонатам (выше –2 ‰), максимальное из которых +1,0 ‰, имеются значительно более низкие величины (до –7...–6 и даже до –11,6 ‰). Уже при первом взгляде на углеродно-изотопную кривую (см. рис. 2) обращают на себя внимание, во-первых, плавный ход фигуративных точек, трассирующий вариации $\delta^{13}C$, и, во-вторых, стратиграфическая специализация вариаций. Эти два обстоятельства наводят на мысль о том, что формирование изотопного состава углерода в разрезе можно объяснить, в основном, в рамках седиментационной модели.

Породы витебского горизонта по изотопному составу углерода отчетливо делятся на нижнюю

(обольские слои) и верхнюю (лепельские слои) части. Значения $\delta^{13}C$ в карбонатах обольских слоев (–5,5...–3,9 ‰) устойчиво более низкие, чем те, что характеризуют нормально-морские карбонаты, а на границе с лепельскими слоями они становятся морскими и остаются такими (на уровне –2 ‰) до кровли горизонта. Поскольку обольское время знаменует собой начало позднеэмской трансгрессии, наступившей после колоссального (поздний венд – ранний эмс) перерыва в седиментации, можно допустить, что в среде накопления обольских осадков была еще существенна доля вод континентального стока, обогащенных изотопно-легким почвенным углеродом [15], которая в лепельское время с развитием трансгрессии существенно уменьшилась. Такая трактовка согласуется с тем, что среди обольских пород значительное место принадлежит песчаникам – продуктам активного поступления вод суши.

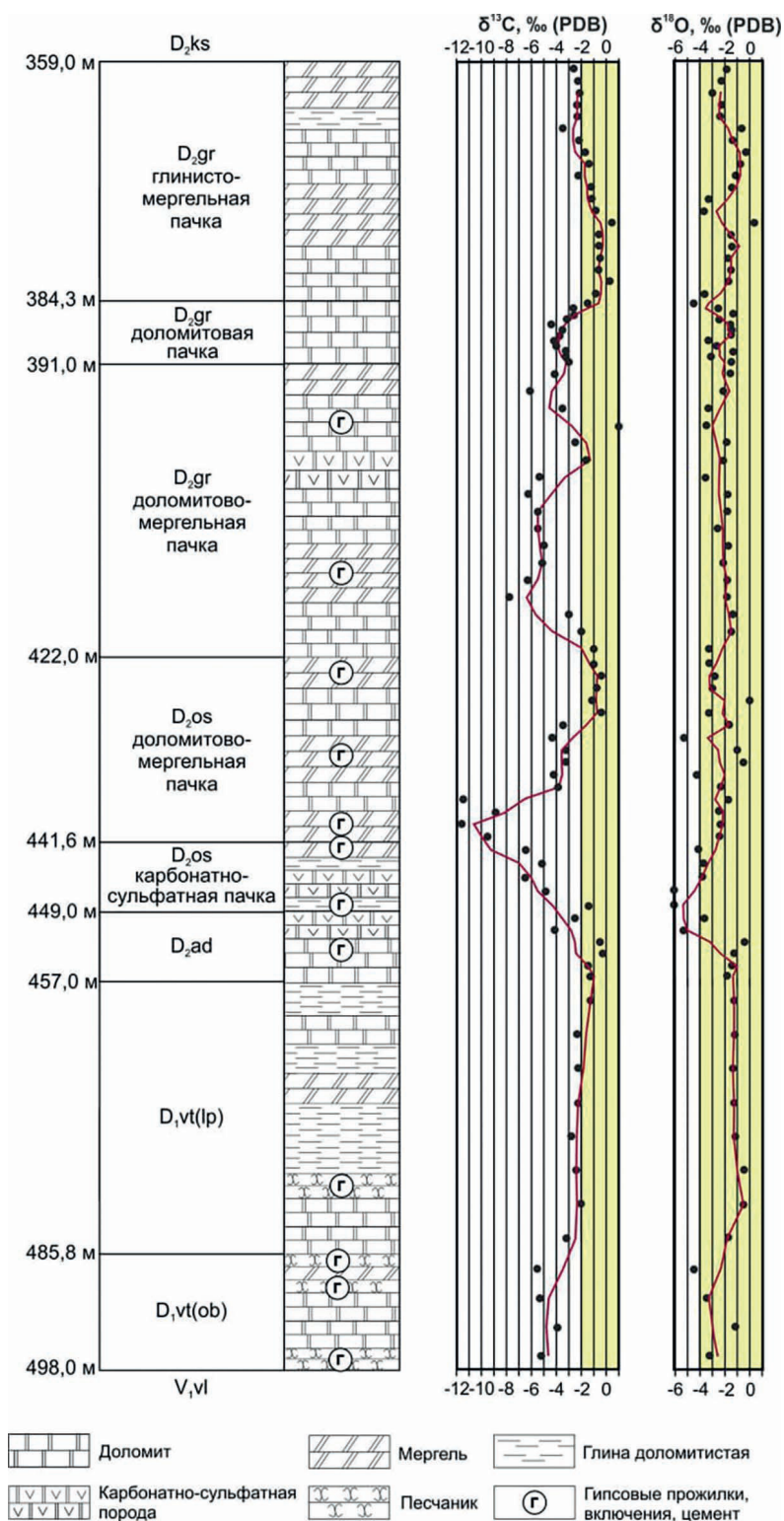


Рисунок 2 – Вариации изотопного состава углерода и кислорода в карбонатных и карбонатсодержащих породах нижнего и среднего девона (верхний эмс – средний эйфель) в разрезе скважины Климовичская

Стратиграфические индексы: D₁vt(ob) – витебский горизонт, обольские слои, D₁vt(lp) – витебский горизонт, лепельские слои, D₂ad – адровский горизонт, D₂os – освейский горизонт, D₂gr – городокский горизонт, D₂ks – костюковичский горизонт, V₁vl – нижний венд, волынская серия. Цифры слева – глубины залегания кровли (подшвы) литостратиграфических подразделений. Точки – фактические значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, красным показаны линии вариаций, сглаженных методом скользящего среднего (шаг – 3 точки). Заливкой выделены интервалы $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$, характерные для нормально-морских карбонатов

Следующий вверх по разрезу адровский горизонт по поведению $\delta^{13}\text{C}$ представляет собой мало-мощный переходный фрагмент от лепельских слоев к своеобразному интервалу, охватывающему освейский горизонт и доломитово-мергельную пачку городокского горизонта. В кровле адровских отложений типично морские значения $\delta^{13}\text{C}$ ($-1,4 \dots -0,3 \text{ ‰}$) сменяются более низкими ($-2,4 \dots -4,1 \text{ ‰}$) (см. рис. 2). Существенно отметить, что здесь, в адровском горизонте, впервые в разрезе появляются карбонатно-сульфатные пластовые тела, в отличие от гипсовых проявлений в виде прожилков, включений и цемента в нижележащей части разреза.

Хемотратиграфическая кривая, описывающая отложения мощного интервала, включающего освейский горизонт и нижнюю (доломитово-мергельную) пачку городокского горизонта, характеризуется большими флуктуациями значений $\delta^{13}\text{C}$ (см. рис. 2), среди которых резко доминируют цифры более низкие и существенно более низкие (вплоть до $-11,6 \text{ ‰}$), чем присущие нормально-морским карбонатам. Возвращение к типичным морским величинам происходит в виде двух коротких экскурсов вблизи границы освейского и городокского горизонтов и в верхней половине доломитово-мергельной пачки последнего. Динамику $\delta^{13}\text{C}$ в эйфельско-нижегородской части Климовичского разреза мы склонны интерпретировать с учетом опыта хемотратиграфического изучения разновозрастных образований в пяти ранее исследованных скважинах (Северо-Полоцкая, Быховская, Кормянская, Приволье и ГГК-1) (см. рис. 1). Во всех пройденных ими освейских разрезах отмечены отрицательные, как правило, высокоамплитудные сдвиги $\delta^{13}\text{C}$, а в двух из них такие же сдвиги присутствуют и в городокских отложениях [1; 2; 6; 7; 9; 10]. Причем, как и в Климовичском разрезе, эти образования в большинстве случаев содержат признаки эвапоритового процесса (карбонатно-сульфатные породы, сульфатные прожилки, гнезда, цемент).

С учетом сказанного, полагаем, что значительные снижения значений $\delta^{13}\text{C}$ в освейско-нижегородском интервале разреза скв. Климовичская знаменуют собой эпизоды эвапоритизации морского бассейна. В эти отрезки времени он в силу тектонических причин становился более мелководным, отдельные его части обнажались и подвергались эрозии, на вероятность чего указывает, в частности, наличие на территории Беларуси участков, где карбонатно-сульфатная пачка освейского горизонта замещена глинисто-карбонатной брекчией [3]. Не исключено, что бассейн распадался на отдельные ванны с морской водой, интенсивно испаряющейся

в приэкваториальных условиях. Такое изменение геоморфологической ситуации приводило к увеличению вклада вод суши, обогащенных изотопно-легкой почвенной углекислотой, в водно-солевой баланс седиментационной системы за счет активизации континентального притока и/или обмеления бассейна. Эти воды могли поступать как с длительно обнаженных участков суши в юго-западной четверти территории Беларуси, где эйфельские отложения отсутствуют [3], так и с периодически возникавших островов.

Дополнительным (кроме почвенного углерода континентальных вод) фактором снижения значений $\delta^{13}\text{C}$ в освейских и адровских отложениях могли быть сопровождавшие обмеление бассейна процессы седиментационного и диагенетического окисления ОВ, рассеянного в осадках, водорастворенным кислородом. Это могло происходить на участках с повышенным содержанием ОВ, на что указывает тенденция к обратной корреляции $\delta^{13}\text{C}$ и $\text{C}_{\text{орг}}$ в адровско-освейской части разреза (рис. 3).

Значения $\delta^{13}\text{C}$ в отложениях доломитовой (среднегородокской) пачки, за исключением самой верхней ее части, несколько снижены относительно нормально-морских величин (см. рис. 2). С учетом наличия в породах сульфидов (см. табл. 1) можно предположить, что это снижение обусловлено мобилизацией углерода рассеянного ОВ при диагенетической сульфатредукции. Породы глинисто-мергельной (верхнегородокской) пачки несут изотопный сигнал нормальной морской седиментации (см. рис. 2). Таким образом, образования двух верхних пачек городокского горизонта, в отличие от нижезалегающих отложений, лишённые сульфатных проявлений, знаменуют возвращение условий седиментации от периодически эвапоритовых к нормально-морским без существенного притока вод суши.

Изотопы кислорода. Интересно рассмотреть, насколько согласуется наблюдаемое в разрезе поведение значений $\delta^{18}\text{O}$ с приведенной выше генетической трактовкой изотопного состава углерода. Величины $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатном материале пород всего нашего разреза (см. рис. 2) полностью попадают в диапазон ($-4 \dots -2 \text{ ‰}$), характерный для морских карбонатов верхнего эмса – эйфеля на обобщенной изотопно-кислородной кривой, построенной по данным с территорий США, Испании, Марокко, России и Китая [19; 20; 23; 28; 29]. Эта кривая основана на результатах анализа кальцита брахиоподовых раковин и наиболее достоверно отражает изотопную геохимию кислорода в бассейнах осадконакопления.

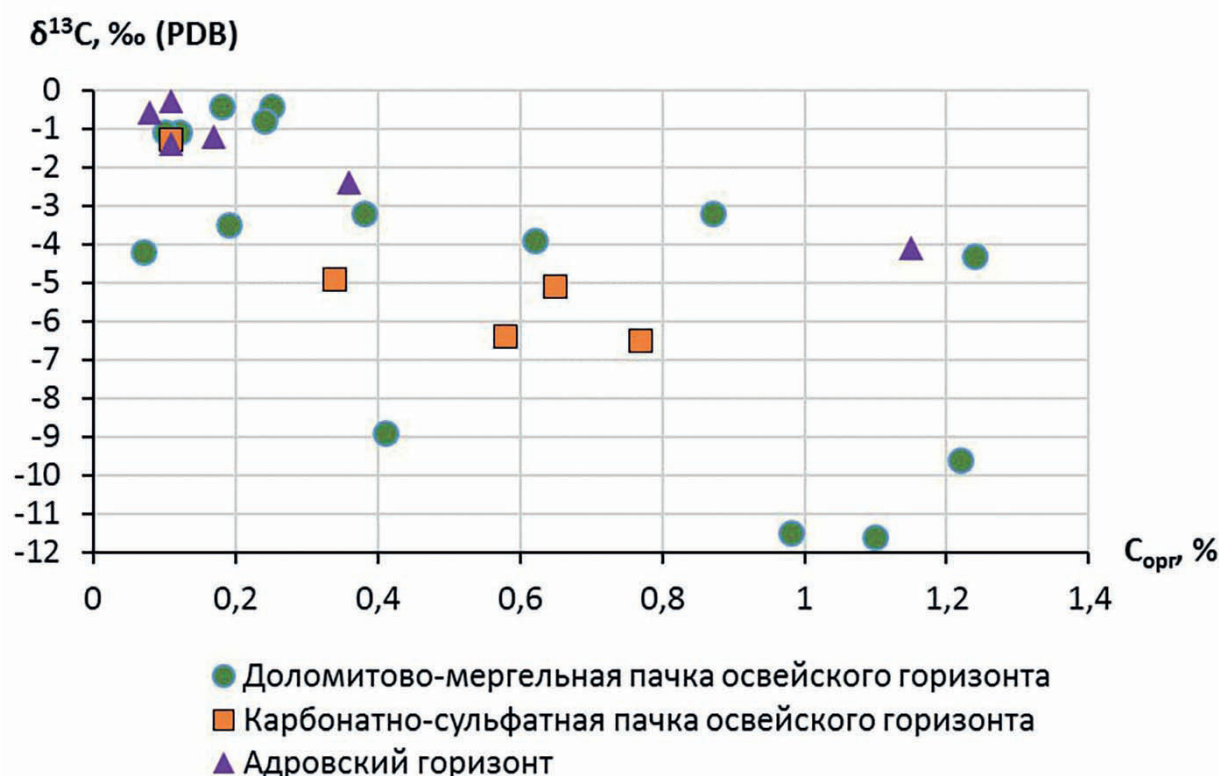


Рисунок 3 – Корреляционная диаграмма $\delta^{13}\text{C}$ – $\text{C}_{\text{орг}}$ для нижнеэифельского разреза скважины Климовичская

Кислородно-изотопная хемотратиграфическая кривая Климовичского разреза ведет себя индифферентно по отношению к отрицательным сдвигам значений $\delta^{13}\text{C}$ за исключением участка, характеризующего с плохим разрешением переход от обольских слоев витебского горизонта к лепельским, где можно усмотреть тенденцию к прямой ковариации $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ (см. рис. 2). Поскольку отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ мы объяснили периодическим увеличением роли континентальных вод в водно-солевом балансе бассейна, то для понимания наблюдаемого в разрезе поведения $\delta^{18}\text{O}$ важно сделать следующее замечание из области изотопной геохимии кислорода атмосферных, континентальных и морских вод.

В приэкваториальной области, где находилась в девоне территория Беларуси [5], изотопный состав кислорода атмосферных осадков, дающих начало поверхностным водам суши, в связи с широтным эффектом может мало отличаться от такового морской воды, но вместе с тем зависит от высоты выпадения осадков, температуры воздуха, сезона, близости к океану и других факторов, способных вызвать искажения этого эффекта [12; 15; 18; 25].

Из сказанного следует, что распределение значений $\delta^{18}\text{O}$ не противоречит трактовке генетических

обстановок по результатам анализа вариаций изотопного состава углерода.

Изотопы серы. Изотопный состав серы гипса в Климовичском разрезе определен для всех гипсо-содержащих литологических подразделений нижнего и среднего девона, а также отложений нижнего венда (см. табл. 1). Значения $\delta^{34}\text{S}$ в общем массиве аналитических данных изменяются от 16,6 до 24,7 ‰. Средняя величина составляет 19,9 ‰, что соответствует глобальным оценкам для морского сульфата среднего девона (19–20 ‰) [22; 26; 27]. На кривой вариаций $\delta^{34}\text{S}$ в разрезе (рис. 4) отчетливо выделяются два интервала. Верхний, включающий соседствующие одноименные (доломитово-мергельные) пачки городокского и освейского горизонтов, характеризуется более высокими значениями $\delta^{34}\text{S}$ (18,9–24,7 ‰, в среднем 21,7 ‰), чем нижний, охватывающий карбонатно-сульфатную пачку освейского горизонта, адровский и витебский горизонты, а также нижневендские образования (16,6–20,8 ‰, в среднем 18,2 ‰). Представляется возможным дать следующее объяснение наличия двух интервалов, различающихся порядком величин $\delta^{34}\text{S}$ гипса, а значит, и высококонцентрированных дериватов морской воды, в среде которых он формировался.

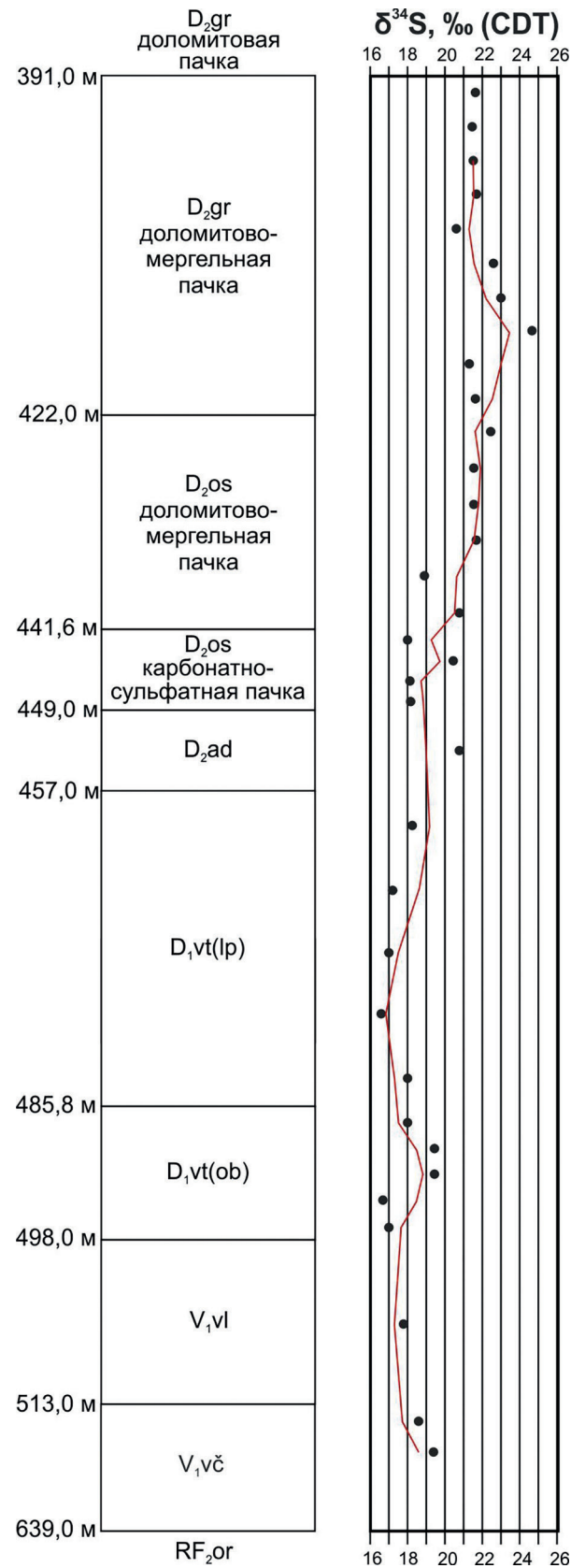


Рисунок 4 – Вариации изотопного состава серы в гипсе средне-нижнедевонских и вендских отложений в разрезе скважины Климовичская. RF₂or – средний рифей, оршанская свита, V₁vč – нижний венд, вильчанская серия; остальные стратиграфические индексы см. в подписи к рис. 2. Цифры слева – глубины залегания кровли (подшвы) литостратиграфических подразделений. Точки – фактические значения δ³⁴S, красным показана линия вариаций, сглаженных методом скользящего среднего (шаг – 3 точки)

Прежде всего обратим внимание на то, что в разрезе имеется два стадийно-генетических типа гипса (рис. 5). Первый тип – это карбонатно-сульфатные породы, образующие пластовые тела и являющиеся продуктом эвапоритовой седиментации. В них гипсовый и доломитовый материал «перемешан» в разных пропорциях. Гипс второго типа локализован во вмещающих глинисто-карбонатных, карбонатно-глинистых и песчаных породах в виде прожилков, включений, гнезд, цемента. Наиболее широко распространены прожилки, имеющие горизонтальную, субгоризонтальную или субвертикальную ориентировку и представленные обычно гипсом-селенитом. Их четкое обособление во вмещающих породах сви-

детельствует об образовании в уже литифицированном субстрате, т.е. они являются катагенетическими, образовавшимися из подземных вод в полостном пространстве трещин. Волокнистые кристаллы селенита ориентированы перпендикулярно к стенкам трещин, что обусловлено ростом кристаллов, одновременным с образованием полостей [8; 17]. Стоит добавить, что трещины в породах Климовичского разреза могли быть, по крайней мере частично, связаны с «гипсовой тектоникой», т.е. возникновением деформаций в хрупком субстрате при увеличении объема сульфатного материала пластовых тел в процессе превращения исходного ангидрита в гипс.



Рисунок 5 – Карбонатно-сульфатные породы (а, б) и прожилки гипса-селенита (в, г) в эйфельском разрезе скважины Климовичская (диаметр керн – 9,5 см): **а** – освейский горизонт, доломитово-мергельная пачка, гл. 402 м; **б** – городокский горизонт, доломитово-мергельная пачка, гл. 339 м; **в** – освейский горизонт, доломитово-мергельная пачка, гл. 413 м; **г** – освейский горизонт, карбонатно-сульфатная пачка, гл. 446 м

Полагаем, что гипсовые прожилки, включения и цемент формировались при галокатагенезе (или гравитационно-рассольном катагенезе) [11; 16] в среде высокоминерализованных подземных вод, обязанных своим происхождением нисходящей миграции рапы из зон эвапоритовой седиментации, которые трассируются пластовыми телами карбонатно-сульфатных пород.

При «движении» снизу вверх по Климовичскому разрезу первые пластовые карбонатно-сульфатные тела, как уже говорилось выше, появляются на рубеже адровского и освейского горизонтов, в последнем из которых образуют известную во многих белорусских разрезах карбонатно-сульфатную пачку. Ниже указанного уровня присутствуют только галокатагенетические гипсовые проявления (см. рис. 2). Стоит отметить, что подобные проявления гипса ниже среднедевонских эвапоритов ранее были детально охарактеризованы в целом ряде разрезов на территории Беларуси [11]. Они были установлены в эмских, ордовикских, кембрийских и верхнепротерозойских породах на основании комплекса литологических, гидрогеологических и других данных.

Таким образом, гипс в породах нижней части адровского горизонта, эмса и нижнего венда образовался в среде поступивших сюда рассолов эвапоритового бассейна адровско-раннеосвейского времени и наследовал изотопный состав серы этих рассолов. Последние, как показано на основании анализа изотопного состава углерода карбонатов, самого легкого во всем изучавшемся разрезе (см. рис. 2), содержали существенную долю вод суши и, естественно, изотопно-легкой континентальной серы [15], что отразилось в изотопном составе серы гипса нижнего интервала Климовичского разреза.

В верхнем интервале разреза (доломитово-мергельные пачки освейского и городокского горизонтов) основным источником рассолов для галокатагенетического гипсообразования был, по-видимому, эвапоритовый бассейн, отмеченный карбонатно-сульфатными породами городокской доломитово-мергельной пачки, на водно-солевой баланс которого влияние вод континентального стока было меньше, чем ранее. Об этом можно в какой-то мере судить по конфигурации кривой $\delta^{13}\text{C}$ карбонатов, которая, начиная примерно с середины городокского горизонта постепенно возвращается к нормально-морским значениям (см. рис. 2). Как следствие, изотопный состав серы гипса в верхнем интервале более тяжелый, чем в нижнем. Не исключено, что на формирование самых высоких значений $\delta^{34}\text{S}$ (23,0 и 24,7 ‰), зафиксированных в гипсе доломитово-мергельной пачки городокского горизонта, отложения которой имеют большее содержание $\text{C}_{\text{орг}}$, чем другие подразделения разреза (см. табл. 2), влия-

ли отчасти процессы биогенной сульфатредукции [4; 21; 24].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты изотопно-хемостратиграфического изучения эмско-среднеэфельских отложений в разрезе параметрической скв. Климовичская (зона сочленения Оршанской впадины и Воронежской антеклизы) сводятся к следующему.

1. Породы витебского горизонта эмского яруса по изотопному составу карбонатного углерода делятся на нижнюю (обольские слои) и верхнюю (лепельские слои) части. Значения $\delta^{13}\text{C}$ в обольских слоях, среди которых много песчаников, устойчиво более низкие ($-5,5 \dots -3,9 \text{ ‰}$), чем нормально-морские, что связано с влиянием на морскую систему седиментации вод суши, обогащенных изотопно-легким почвенным углеродом, в начале позднеэмской трансгрессии, наступившей после колоссального (с позднего венда) перерыва в осадконакоплении. В лепельское время приток континентальных вод существенно уменьшился ($\delta^{13}\text{C}$ на уровне -2 ‰).

2. Интервал разреза, включающий адровский и освейский горизонты нижнего эфеля и доломитово-мергельную пачку городокского горизонта среднего эфеля характеризуется большими флуктуациями значений $\delta^{13}\text{C}$, среди которых резко доминируют цифры более низкие и существенно более низкие (вплоть до $-11,6 \text{ ‰}$), чем присущие нормально-морским карбонатам. Отрицательные экскурсы $\delta^{13}\text{C}$ проинтерпретированы как результат вклада вод суши в водно-солевой баланс бассейна при его обмелении, сопровождавшемся образованием карбонатно-сульфатных осадков.

3. Начиная с доломитовой пачки городокского горизонта и до его кровли породы лишены сульфатных проявлений и несут углеродно-изотопный сигнал, свидетельствующий о возвращении условий седиментации от периодически эвапоритовых к нормально-морским без существенного притока континентальных вод.

4. Величины $\delta^{18}\text{O}$ в карбонатном материале пород всего эмско-среднеэфельского разреза полностью попадают в диапазон ($-4 \dots -2 \text{ ‰}$), характерный для морских карбонатов верхнего эмса – эфеля. Это не противоречит трактовке генетических обстановок по результатам анализа вариаций $\delta^{13}\text{C}$, поскольку в приэкваториальной области, где находилась в девоне территория Беларуси, изотопный состав кислорода атмосферных осадков, дающих начало поверхностным водам суши, в связи с широтным эффектом может мало отличаться от состава морской воды.

5. Изотопный состав серы гипса определен для всех гипсосодержащих литологических подразделений нижнего и среднего девона, а также отложений нижнего венда. Среднее значение $\delta^{34}\text{S}$ для общего массива данных (19,9 ‰) соответствует глобальным оценкам для морского сульфата среднего девона (19–20 ‰). На кривой вариаций $\delta^{34}\text{S}$ в разрезе выделяются два интервала. Нижний, охватывающий карбонатно-сульфатную пачку освейского горизонта, адровский и витебский горизонты, а также нижневендские образования, характеризуется более низкими значениями $\delta^{34}\text{S}$ (16,6–20,8 ‰, в среднем 18,2 ‰), чем верхний, включающий соседствующие одноименные (доломитово-мергельные) пачки городокского и освейского горизонтов (18,9–24,7 ‰, в среднем 21,7 ‰). Эта разница связана с тем, что в составе

эвапоритовых рассолов – среде образования на поверхности дна карбонатно-сульфатных осадков, а при нисходящей миграции – галокатагенетических гипсовых прожилков, включений и цемента, – доля вод суши с их изотопно-легкой континентальной серой была в нижней части разреза больше, чем в верхней. Данная трактовка согласуется с результатами анализа вариаций $\delta^{13}\text{C}$.

Авторы выражают благодарность О. Ф. Кузьменковой и Г. И. Лучине за участие в формировании массива фактического материала.

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы (подпрограмма 10.4 «Белорусские недра») и в соответствии с планом научно-исследовательских работ Геологического института РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Вариации** изотопного состава углерода и кислорода в ниже-среднедевонских отложениях на юго-западе Воронежской антеклизы / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2021. – № 2 (55). – С. 80–94.
2. **Вариации** изотопного состава углерода и кислорода в эмских и эйфельских отложениях на юго-востоке Латвийской седловины / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2022. – № 1 (56). – С. 67–79.
3. **Геология** Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Ин-т геолог. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
4. **Гриненко, В. А.** Геохимия изотопов серы / В. А. Гриненко, Л. Н. Гриненко. – М. : Наука, 1974. – 274 с.
5. **Зоненшайн, Л. П.** Тектоника литосферных плит территории СССР / Л. П. Зоненшайн, М. И. Кузьмин, Л. М. Натапов. – М. : Недра, 1990. – Кн. 1. – 328 с.
6. **Изотопная** хемотратиграфия верхнеэмско-среднеэйфельских отложений в разрезе параметрической скважины Кормянская на Жлобинской седловине / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 2 (51). – С. 64–74.
7. **Изотопная** хемотратиграфия ниже-среднедевонского разреза зоны сочленения Оршанской впадины и Жлобинской седловины (параметрическая скважина Быховская) / А. А. Махнач [и др.] // Літасфера. – 2019. – № 1 (50). – С. 136–148.
8. **Кузнецов, А. М.** О волокнистом гипсе в кунгурской толще Приуралья / А. М. Кузнецов // Изв. Естеств.-науч. ин-та при Молотовск. ун-те. – 1952. – Т. 13, вып. 6. – С. 503–518.
9. **Махнач, А. А.** Вариации изотопного состава углерода и кислорода в эмско-франских отложениях Северо-Припятского плеча (юго-восток Беларуси) / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 101–115.
10. **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.
11. **Махнач, А. А.** Катагенез и подземные воды / А. А. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1989. – 335 с.
12. **Никаноров, А. М.** Стабильные изотопы в гидрохимии / А. М. Никаноров, Ю. А. Федоров. – Л. : Гидрометеиздат, 1988. – 247 с.
13. **Систематика** и классификации осадочных пород и их аналогов / В. Н. Шванов [и др.] – СПб. : Недра, 1998. – 352 с.
14. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснительная записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : ГП «БелНИГРИ», 2010. – 282 с.
15. **Фор, Г.** Основы изотопной геологии: пер. с англ. / Г. Фор. – М. : Мир, 1989. – 590 с.
16. **Холодов, В. Н.** Новое в познании катагенеза / В. Н. Холодов // Литология и полезные ископаемые. – 1982. – № 3. – С. 3–22.
17. **Bundy, W. M.** Petrology of gypsum-anhydrite deposits in South-Western Indiana / W. M. Bundy // J. Sed. Petrol. 1956. – Vol. 26, № 3. – P. 240–252.
18. **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.

19. **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. – Vol. 1. – P. 181–206.
20. **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. – Vol. 1. – P. 279–307.
21. **Holser, W. T.** Isotope geochemistry of sedimentary sulfates / W. T. Holser, I. R. Kaplan // Chemical Geology. – 1966 – Vol. 1. – P. 93–135.
22. **Kampschulte, A.** The sulfur isotopic evolution of Phanerozoic sea water based on the analysis of structurally substituted sulphate in carbonates / A. Kampschulte, H. Strauss // Chem. Geol. – 2004. – № 204. – P. 255–286.
23. **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. – № 93 (4). – P. 542–553.
24. **Pierre, C.** Isotope composition of Messinian sediments from the Mediterranean Sea as indicators of paleoenvironments and diagenesis / C. Pierre, J. C. Fontes // Init. Repts. Deep Sea Drill. Proj. – 1978. – Vol. 42. – P. 635–650.
25. **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.
26. **Sulfur** Isotope Stratigraphy / A. Paytan [et al.] // The Geologic Time Scale 2020 / eds. F. M. Gradstein [et al.]. – Amsterdam, Oxford, Cambridge (MA, US) : Elsevier, 2020. – Vol. 1. – P. 259–278.
27. **The age** curves of sulfur and oxygen isotopes in marine sulfate and their mutual interpretation / G. E. Claypool [et al.] // Chemical Geology. – 1980. – Vol. 28. – P. 199–260.
28. **Van Geldern, R.** Carbon, oxygen and strontium isotope records of Devonian brachiopod shell calcite / R. van Geldern // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2006. – № 240 (1–2). – P. 47–67.
29. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater / J. Veizer [et al.] // Chemical Geology. – 1999. – № 161 (1–3). – P. 59–88.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 28.03.2024

Рэцэнзент У. М. Шымановіч

С-, О-, S-ІЗАТОПНАЯ ХЕМАСТРАТЫГРАФІЯ НІЖНЕ- І СЯРЭДНЕДЭВОНСКИХ АДКЛАДАЎ У ЗОНЕ СУЧЛЯНЕННЯ АРШАНСКОЙ УПАДЗІНЫ І ВАРОНЕЖСКОЙ АНТЭКЛІЗЫ (ПАРАМЕТРЫЧНАЯ СВДРАВІНА КЛІМАВІЦКАЯ)

А. А. Махнач¹, Б. Г. Пакроўскі², Г. Дз. Стральцова¹, А. Г. Лапцэвіч¹, 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, Масква, Расія
E-mail: pokrov@ginras.ru

Артыкул прысвечаны вынікам ізатопна-хемастратыграфічнага даследавання адкладаў ніжне-сярэднедэвонскага разрэза параметрычнай свідравіны Клімавіцкая ў зоне сучлянення Аршанскай ўпадзіны і Варонежскай антэклізы. Прааналізаваны наводзіны ізатопаў вугляроду і кіслароду ў карбанатах і серы ў гіпсе. Віцебскі гарызонт верхняга эмса, даламітавая і глініста-мергельная пачкі гарадоцкага гарызонта сярэдняга эйфеля характарызуюцца нармальна-марскімі $\delta^{13}\text{C}$. Адроўскі і асвейскі гарызонты ніжняга эйфеля і даламітава-мергельная пачка гарадоцкага гарызонта вылучаюцца вялікімі флуктуацыямі $\delta^{13}\text{C}$ (ад марскіх да $-11,6\text{‰}$), што звязана з варыяцыямі інтэнсіўнасці прытоку кантынентальных вод у марскі басейн пры яго абмяленні, якое суправаджалася ўтварэннем сульфатных асадкаў. Велічыні $\delta^{18}\text{O}$ ва ўсім ніжне-сярэднедэвонскім разрэзе пападаюць у дыяпазон ($-4\ldots-2\text{‰}$), характэрны для марскіх карбанатаў верхняга эмса – эйфеля, што абумоўлена прыкватарыяльным знаходжаннем тэрыторыі Беларусі ў дэвоне і не супярэчыць генетычным высновам, якія зроблены на падставе аналізу дынамікі $\delta^{13}\text{C}$. На крывой вараўскага $\delta^{34}\text{S}$ гіпсу выразна вылучаюцца два інтэрвалы: ніжні (карбанатна-сульфатная пачка асвейскага

гарызонта, адроўскі і віцебскі гарызонты, а таксама ніжні венд) з больш нізкімі значэннямі $\delta^{34}\text{S}$ (у сярэднім 18,2 ‰) і верхні (даламітава-мергельныя пачкі гарадоцкага і асвейскага гарызонтаў) з больш высокімі значэннямі (у сярэднім 21,7 ‰). Гэта абумоўлена розным долевым удзелам вод сушы з ізатопна-лёгкай кантынентальнай серай у складзе гіпсаўтвараючых эвапарытавых расолаў (большым для ніжняй часткі разрэза, чым для верхняй) і стасуецца з паводзінамі $\delta^{13}\text{C}$.

Ключавыя словы: ізатопы вугляроду, кіслароду і серы, ніжні і сярэдні дэвон, Аршанская ўпадзіна, Варонежская антэкліза.

C-, O-, S-ISOTOPIC CHEMOSTRATIGRAPHY OF THE LOWER AND MIDDLE DEVONIAN DEPOSITS WITHIN THE ORSHA DEPRESSION-VORONEZH ANTECLISE JUNCTION (THE KLIMOVICHI PARAMETRIC BOREHOLE)

A. Makhnach¹, B. Pokrovsky², G. Streltsova¹, A. Laptsevich¹, O. Murashko¹

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

7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: amakhnach1951@gmail.com

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

The paper is devoted to the results of isotopic chemostratigraphy study of the Lower and Middle Devonian deposits in the geological section of the Klimovich parametric borehole within the Orsha Depression – Voronezh Antecline junction. Carbon and oxygen isotopes in carbonates and sulphur isotopes in gypsum have been analysed. The Upper Emsian Vitebsk horizon, dolomite and clay-marly rock units of the Middle Eifelian Gorodok horizon are characterized by normal sea $\delta^{13}\text{C}$ values. The Lower Eifelian Adrov and Osveya horizons and dolomite-marly rock unit of the Gorodok horizon are remarkable with wide $\delta^{13}\text{C}$ fluctuations (from sea figures to $-11,6$ ‰). This is due to changing intensity of land water influx into the sea basin when its shallowing, which was accompanied by sulphate sediment forming. The $\delta^{18}\text{O}$ values in the whole Lower-Middle section fall into the range ($-4...-2$ ‰) characteristic for the Emsian-Eifelian sea carbonates. This is due to the Belarus territory near-equator location in Devonian and does not contradict the genetic conclusions made under $\delta^{13}\text{C}$ dynamics consideration. There are two distinct intervals in the gypsum $\delta^{34}\text{S}$ variation curve. The lower one (the Osveya horizon carbonate-sulphate rock unit, Adrov and Vitebsk horizons and Lower Vendian) is characterized by $\delta^{34}\text{S}$ values (18,2 ‰ at an average) which are lower than in the upper interval (dolomite-marly rock units of the Gorodok and Osveya horizons) where $\delta^{34}\text{S}$ values are 21,7 ‰ at an average. This is due to different proportion of land water with isotopically light continental sulphur in gypsum-forming evaporite brines (greater for the lower part of the section than for the upper one) and is in agreement with the $\delta^{13}\text{C}$ behaviour.

Keywords: carbon, oxygen and sulphur isotopes, Lower and Middle Devonian, Orsha Depression, Voronezh Antecline.

КАРЫСНЫЯ ВЫКАПНІ

УДК 476.2)4.553.982.04/622.276.1)

ОСОБЕННОСТИ ДОРАЗВЕДКИ ОТЛОЖЕНИЙ ПОЛОЦКОГО ГОРИЗОНТА И ЛАНСКОГО НАДГОРИЗОНТА РЕЧИЦКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С УЧЕТОМ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА

А. С. Грудинин

Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти
(БелНИПИнефть)

ул. Книжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь

E-mail: a.grudinin@beloil.by

Работа посвящена открытию новых залежей нефти в пределах Речицкого нефтяного месторождения по результатам проведенных работ по доразведке отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта с учетом данных литолого-фациального анализа. Проанализированы геолого-геофизические материалы, полученные по результатам бурения разведочных и эксплуатационных скважин, подтвердившие прогнозное распространение нефтепродуктивных отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта в пределах неразведанных блоков (восточный и северный) Речицкого месторождения, что привело к открытию новых залежей нефти. Благодаря проведенной доразведке залежей нефти полоцко-ланского резервуара и активному их вовлечению в разработку, за период с 2014 по 2022 г. годовая добыча нефти по анализируемым горизонтам выросла с 45 до 214 усл. ед., извлекаемые запасы промышленных категорий увеличились с 1100 усл. ед. до 4000 усл. ед.

Ключевые слова: Речицкое нефтяное месторождение, отложения полоцкого горизонта и ланского надгоризонта, литолого-фациальный анализ, доразведка.

Речицкое нефтяное месторождение в тектоническом отношении расположено в пределах гребневой части Речицко-Вишанской региональной зоны локальных поднятий Северной структурно-тектонической ступени Припятского прогиба [1].

Промышленная нефтеносность отложений полоцкого надгоризонта и ланского горизонта Речиц-

кого месторождения установлена в июне 1969 г. скважиной 91 Речицкая. При опробовании в эксплуатационной колонне интервала 2730–2745 м был получен приток нефти дебитом 40 м³/сут на штуцере 6 мм, с чем связано открытие новых залежей нефти (в современном представлении – западный блок Речицкого месторождения (рис. 1)).

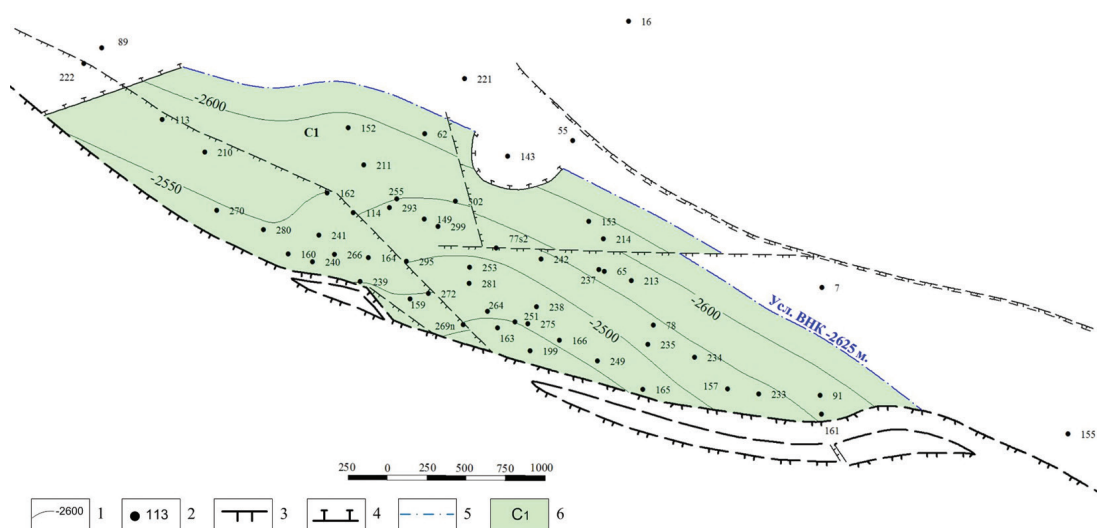


Рисунок 1 – Структурная карта кровли коллектора полоцко-ланского резервуара Речицкого месторождения и подсчетный план (по состоянию на 01.01.2015):

1 – изогипсы, м; 2 – номер скважины; 3 – тектонические нарушения; 4 – граница распространения пластов-коллекторов; 5 – водонефтяной контакт; 6 – площадь разведанных запасов категории C₁

Особенностью строения полоцкого горизонта является его цикличность. Разрез сложен переслаиванием песчано-алевритовых пород с мощными прослоями глинистых пород и редкими прослоями доломитов и доломитовых мергелей. Отложения ланского надгоризонта, завершающие разрез подсолевой терригенной толщи, 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-алевролитовых и карбонатных пород [2; 4]. Продуктивная часть отложений полоцко-ланского резервуара довольно однородна и представлена преимущественно мономинеральными мелкозернистыми песчаниками и крупнозернистыми песчаными алевролитами с подчиненными прослоями глинистых мелкозернистых алевролитов.

В 2012 г. А. С. Грудинин и Е. А. Напреенко провели литолого-фациальный анализ отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта Речиц-

кого нефтяного месторождения, направленного на детализацию условий формирования, корреляцию разрезов скважин, типизацию и картирование зон распространения отдельных нефтегазонасыщенных песчаных толщ. На основании материалов карты общей песчаности, анализа характера неоднородности распространения и распределения мощности литопачек по площади и по разрезу составлена схема строения исследуемых отложений и выделены области развития основных типов разреза (рис. 2) [3].

Полученные результаты литолого-фациального анализа позволили выявить в границах Речицкого месторождения два новых нефтеперспективных участка и подготовить в 2014 г. рекомендации по доразведке и обоснование на бурение скважины 202 Речицкая со вскрытием отложений полоцко-ланского резервуара в пределах неразведанного восточного участка Речицкого месторождения (район скважин 179, 1 и 155) (рис. 2) [3].

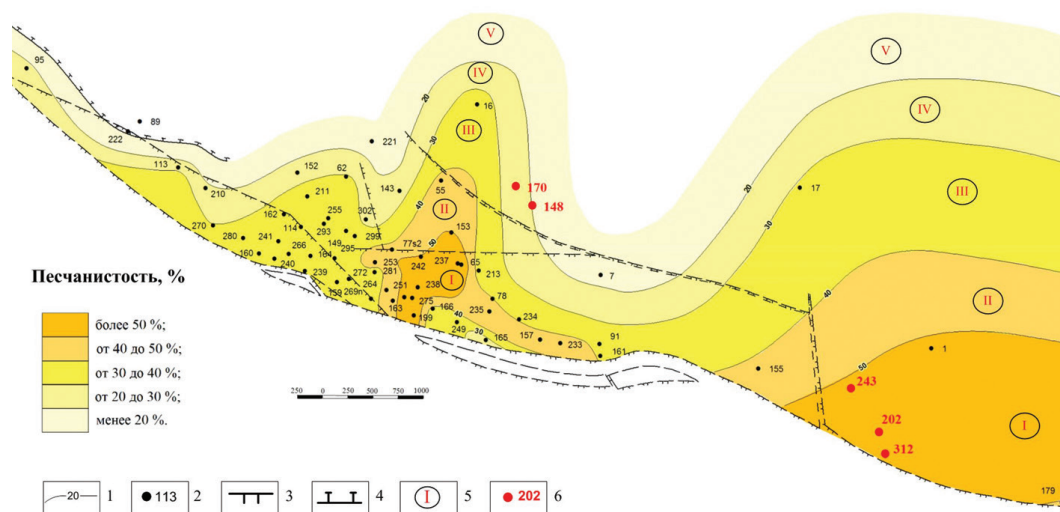


Рисунок 2 – Речицкое месторождение. Отложения полоцкого горизонта и ланского надгоризонта.

Карта песчаности: 1 – линия равных значений песчаности; 2 – номер скважины; 3 – тектонические нарушения; 4 – граница распространения песчаных отложений; 5 – тип разреза; 6 – проектные скважины [3]

По результатам бурения, скважина 202 Речицкая вскрыла мощную песчаную толщу отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта (вскрытая мощность нефтенасыщенных пластов-коллекторов по данным интерпретации материалов ГИС составила 17,7 м), при испытании которых в интервале 2806,6–2875 м при фактической максимально созданной депрессии 10,7 МПа был получен приток нефти дебитом 109,3 м³/сут (рис. 3). Пластовое давление на глубине 2810,3 м составило 27,1 МПа, градиент – 0,986 МПа/100 м, максималь-

ная температура – 63 °С. Значение градиента пластового давления оказалось практически равно значению начального градиента (градиент – 1 МПа/100 м) и существенно выше значения текущего градиента в зоне отбора на глубине ВНК (текущий градиент – 0,66 МПа/100 м) залежи западного блока, что указывает на то, что в данной зоне испытаны пласты, не подвергавшиеся ранее влиянию разработки, и свидетельствует об открытии новой залежи нефти в одновозрастных отложениях восточного блока Речицкого месторождения (рис. 4) [3].

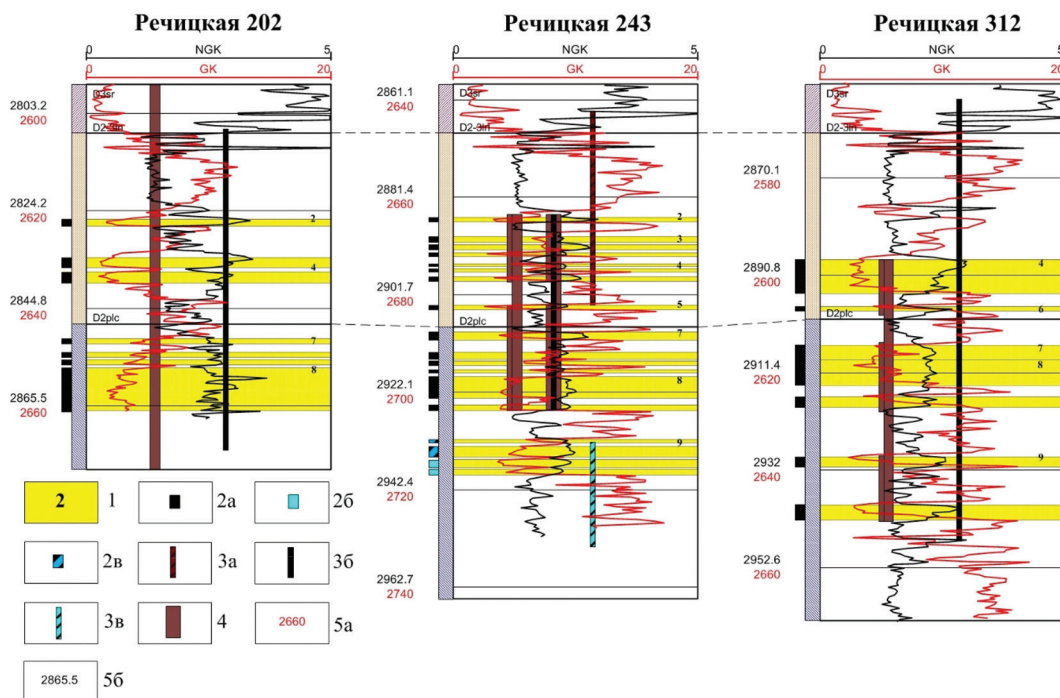


Рисунок 3 – Подсолевой терригенный разрез отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта по скважинам 202–243–312 Речицкие: 1 – литопачка; 2 – пласты-коллекторы по данным интерпретации материалов ГИС (2а – нефтенасыщенные, 2б – водонасыщенные, 2в – нефте-водонасыщенные); 3 – опробование в открытом стволе (3а – приток глинистого раствора с пленкой нефти, 3б – приток нефти, 3в – приток пластовой воды с пленкой нефти); 4 – испытание в эксплуатационной колонне; 5а – глубина вскрытия отложений, м; 5б – абсолютная отметка вскрытия отложений, м

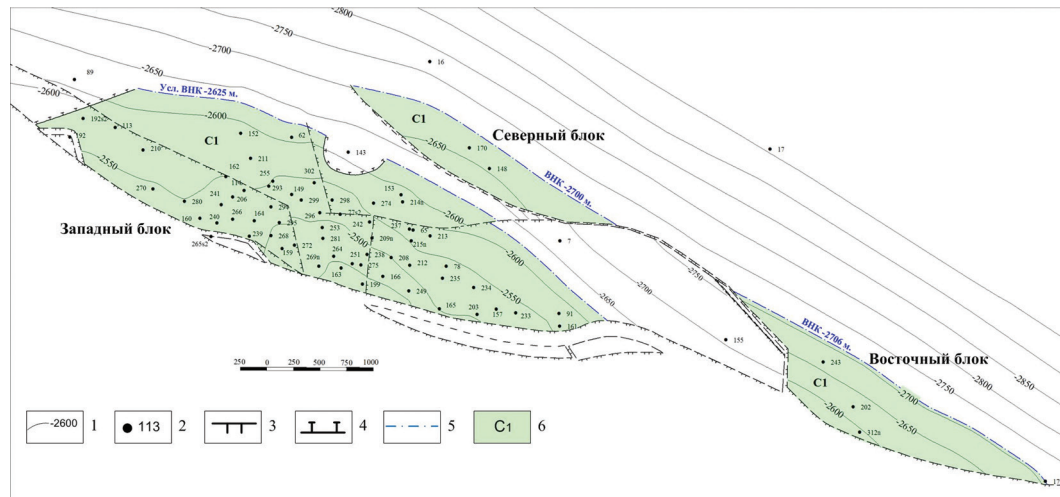


Рисунок 4 – Структурная карта кровли коллектора полоцко-ланского резервуара Речицкого месторождения и подсчетный план (по состоянию на 01.01.2016): 1 – изогипсы, м; 2 – номер скважины; 3 – тектонические нарушения; 4 – граница распространения пластов-коллекторов; 5 – водонефтяной контакт; 6 – площадь разведанных запасов категории C_1

Результаты бурения скважины 202 Речицкая подтвердили прогнозное распространение нефтепродуктивных отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта по данным литолого-фациального анализа. После открытия новой залежи в пределах восточного блока Речицкого месторождения, с целью его доразведки, с учетом результатов литолого-фациального анализа были даны рекомендации на бурение скважин 243 и 312 Речицкие (см. рис. 2).

Для уточнения положения ВНК и фильтрационно-емкостных свойств отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта пробурена эксплуатационная скважина 243. Согласно интерпретации материалов ГИС, вскрытая мощность нефтенасыщенных пластов-коллекторов составила 16,7 м, при испытании которых в интервале 2863,5–2903,9 м получен приток фильтрата глинистого раствора с пленкой нефти (см. рис. 3). В герметичном

КАРЬСНЬЯ ВЬКАПНІ

пробоотборнике получена нефть плотностью $0,6 \text{ г/см}^3$, в пробоотборной свече разгазированный раствор плотностью $0,75 \text{ г/см}^3$. С целью уточнения характера насыщения пластов-коллекторов отложений полоцкого горизонта в интервале 2932–2955 м (по заключению интерпретации материалов ГИС – различной степени водо-нефтенасыщенные) проведено испытание в открытом стволе (см. рис. 3), по результатам которого получен приток пластовой воды с пленкой нефти дебитом $21,4 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Скважина 243 выполнила свои разведочные задачи – вскрыта чисто нефтяная часть залежи, переходная зона и водонасыщенная часть залежи. С учетом полученных данных по скважине 243 (подошва нижнего нефтенасыщенного пласта на отметке –2704 м), ВНК по восточному блоку полоцкого горизонта и ланского надгоризонта принят на отметке –2706 м, что соответствует кровле верхнего водонасыщенного пласта-коллектора в скважине 179 и не противоречит результатам испытания в скважине 243.

По результатам бурения скважины 312, в отложениях полоцкого горизонта и ланского надгоризонта вскрыты нефтенасыщенные породы-коллекторы мощностью 24,1 м. При проведении совместного испытания в открытом стволе в интервале 2853,3–2947 м при фактической максимально созданной депрессии 13,2 МПа был получен приток нефти дебитом $75,5 \text{ м}^3/\text{сут}$. В пробах была получена легкая, малосернистая, высокопарафинистая, смолистая нефть плотностью $0,837 \text{ г/см}^3$. Газ в пробах по составу соответствует газу нефтенасыщенных отложений ($C_1 = 13 \%$; $C_2 = 27,2 \%$; $E_{\text{г}} = 57,1 \%$). Пластовое давление на глубине 2855,8 м составило 26,32 МПа, градиент – $0,972 \text{ МПа/100 м}$, максимальная температура – $60,8^\circ\text{C}$. Значение градиента близко к значению, полученному при испытании в скважине 202 Речицкая (градиент – $0,986 \text{ МПа/100 м}$), впервые вскрывшей соответствующие отложения этого блока.

При освоении отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта в интервалах 2887,4–2899,2 м, 2905–2919,6 м, 2929–2942,8 м был получен приток нефти. По данным НГДУ «Речицанефть» РУП «ПО «Белоруснефть», дебит нефти по первому полному месяцу эксплуатации фонтанным способом составил $10,58 \text{ т/сут}$.

Открытие новой залежи в отложениях полоцкого горизонта и ланского надгоризонта восточного блока позволило уточнить некоторые представления о Речицкой площади. С учетом структурного положения и, возможно, единого ВНК с залежью нефти отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта восточного блока Речицкого месторождения, а также с учетом данных литолого-фациального анализа полоцко-ланского

резервуара был подготовлен паспорт на подсолевую ловушку нефти по Северному блоку Речицкого месторождения (район скважин 56, 16, 17) (см. рис. 2). Данная перспективная ловушка характеризуется высокими значениями песчаности от 30 до 40 %, эффективными толщинами песчаных пачек от 5 до 15 м, и открытой пористостью от 12 до 15 %. С целью доразведки отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта северного блока, уточнения характера насыщения и фильтрационно-емкостных характеристик было рекомендовано доуглубить эксплуатационную скважину 148 Речицкая со вскрытием отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта (см. рис. 2).

В результате проведенных работ по скважине 148 была открыта новая залежь нефти отложениях полоцкого горизонта и ланского надгоризонта северного блока Речицкого месторождения. Согласно оперативной интерпретации материалов ГИС, в отложениях полоцкого горизонта и ланского надгоризонта выделены нефтенасыщенные пласты-коллекторы мощностью 13,1 м (рис. 5). По результатам испытания в открытом стволе отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта в интервале 2855–2879 м был получен приток нефти плотностью $0,88 \text{ г/см}^3$ (из пробоотборной свечи), дебитом $31,4 \text{ м}^3/\text{сут}$, пластовое давление (по КВД) составило 26,8 МПа, что соответствует начальному пластовому давлению.

После открытия залежи северного блока и подтверждения прогнозных литолого-фациальных карт были даны рекомендации на доуглубление эксплуатационной скважины 170 Речицкая со вскрытием отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта для уточнения распространения пород-коллекторов и характера их насыщения (см. рис. 2). Результатом выполнения рекомендованных работ по скважине 170 Речицкая явилось вскрытие нефтенасыщенных пластов-коллекторов мощностью 14,3 м (см. рис. 5).

Скважиной вскрыт ВНК на отметке –2699,8 м. При проведении совместного испытания в процессе бурения отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта (интервал 2928,5–2995 м) при фактической максимально созданной депрессии 11,6 МПа получен приток флюида дебитом $2,5 \text{ м}^3/\text{сут}$. В пробах содержался буровой раствор плотностью менее $0,700 \text{ г/см}^3$ с пленкой нефти. Газ в пробах по составу соответствует газу нефтенасыщенных отложений ($C_1 = 13,8 \%$; $C_2 = 30,9 \%$; $E_{\text{г}} = 63,3 \%$). Пластовое давление на глубине 2931 м составило 27 МПа, градиент – $0,971 \text{ МПа/100 м}$, максимальная температура – 63°C . Значение полученного градиента близко к значению, полученному при испытании в скважине 148 Речицкая (градиент – $0,969 \text{ МПа/100 м}$), впервые вскрывшей соответствующие отложения северного блока.

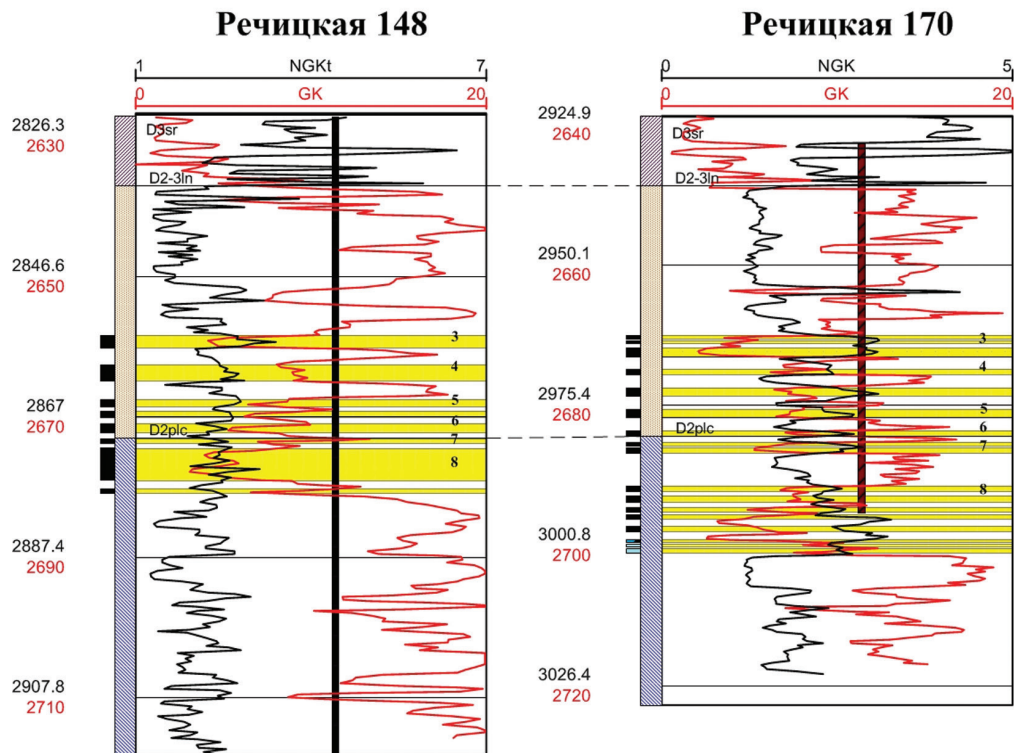


Рисунок 5 – Подсолевой терригенный разрез отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта по скважинам 148–170 Речицкие (условные обозначения см. на рис. 3)

Пробуренные в 2015 г. эксплуатационно-разведочные скважины 202, 243, 312, 148 и 170 Речицкие по результатам выполненного литолого-фациального анализа подтвердили прогнозируемое распространение нефтеперспективных отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта в пределах неразведанных участков исследуемо-

го месторождения, что привело к открытию новых залежей нефти в одновозрастных отложениях. В 2016 г. пройденные бурением в пределах восточного блока эксплуатационные скважины 174, 175, 244 и 262 подтвердили нефтеносность отложений полоцко-ланского резервуара (рис. 6).

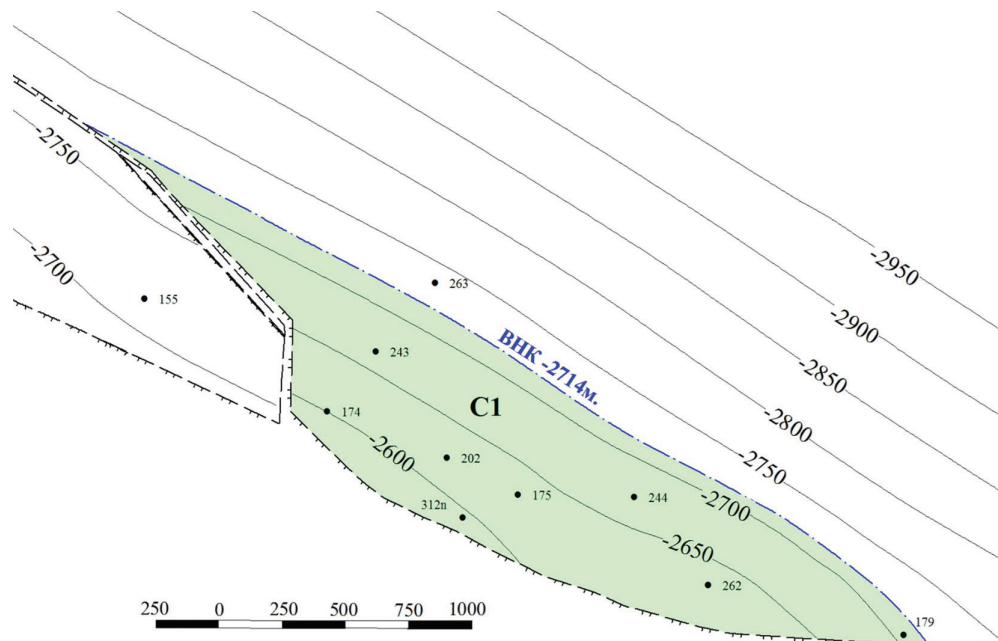


Рисунок 6 – Структурная карта кровли коллектора полоцко-ланского резервуара Восточного блока Речицкого месторождения и подсчетный план (условные обозначения см. на рис. 4)

По результатам бурения, освоения и эксплуатации скважин 243 и 244 уточнено положение ВНК. Верхний водонасыщенный пласт-коллектор в скважине 243 по данным интерпретации материалов ГИС выделен на отметке –2713,9 м, нефтеводонасыщенные пласты в интервале –2709,7–2713,3 м, при испытании в открытом стволе интервала минус 2710,2–2731,7 м получен приток пластовой воды с пленкой нефти плотностью 0,860 г/см³. Газ характерен составу газа нефтяных месторождений. ВНК принят на отметке –2714 м, что соответствует верхнему водонасыщенному пласту по скважине 243 Речицкая.

ВЫВОДЫ

В 2014 г., учитывая полученные результаты литолого-фациального анализа, выполненного в 2012 г., специалистами БелНИПИнефть РУП «ПО «Белоруснефть» было подготовлено обоснование на бурение скважины 202 Речицкая, предусматривавшее вскрытие отложений полоцкого-ланского резервуара восточного блока Речицкого месторождения. При проведении бурения скважины из отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта получен приток безводной нефти дебитом 109,3 м³/сут, что свидетельствует о подтверждении прогнозных литолого-фациальных карт и об открытии новой залежи нефти в одновозрастных отложениях восточного блока Речицкого месторождения.

С учетом структурного положения и, возможно, единого ВНК с залежью нефти отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта восточного блока Речицкого месторождения, а также принимая во внимание данные литолого-фациального анализа полоцкого-ланского резервуара, подготовлен паспорт на подселевую ловушку нефти Северного блока Речицкого месторождения и разработаны рекомендации по доуглублению скважины 148 Речицкая. В результате проведения работ из отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта скважины получен приток безводной нефти дебитом 31,4 м³/сут, что привело к открытию новой залежи нефти на Речицком месторождении.

Пробуренные в период 2015–2016 гг. эксплуатационно-разведочные скважины по данным литолого-фациального анализа подтвердили прогнозное распространение нефтеперспективных отложений полоцкого горизонта и ланского надгоризонта в пределах неразведанных блоков (Восточный и Северный) Речицкого месторождения, с чем связано открытие новых залежей нефти.

В целом, за период с 2014 по 2022 г., благодаря доразведке залежей нефти полоцкого-ланского резервуара Речицкого месторождения и их активному вовлечению в разработку, эксплуатационный фонд скважин по данным объектам увеличился с 18 до 80 скважин, годовая добыча нефти выросла с 45 до 214 усл. ед., начальные извлекаемые запасы промышленных категорий увеличились с 1100 усл. ед. до 4000 усл. ед.

Открытие новых залежей нефти на Речицком месторождении свидетельствует о высокой эффективности использования результатов литолого-фациального анализа при проведении геологоразведочных работ на этапе выявления и подготовки потенциальных нефтеперспективных ловушек для ввода их в поисково-разведочное бурение. Результаты литолого-фациального анализа позволяют устанавливать и прогнозировать закономерности распространения отдельных локально развитых песчаных тел, выявлять особенности их строения по площади и разрезу, что позволяет более корректно планировать поисково-разведочное бурение.

Открытие новых залежей нефти на Речицком месторождении свидетельствует о высокой эффективности использования результатов литолого-фациального анализа при проведении геологоразведочных работ на этапе выявления и подготовки потенциальных нефтеперспективных ловушек для ввода их в поисково-разведочное бурение. Результаты литолого-фациального анализа позволяют устанавливать и прогнозировать закономерности распространения отдельных локально развитых песчаных тел, выявлять особенности их строения по площади и разрезу, что позволяет более корректно планировать поисково-разведочное бурение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бескопильный, В. Н.** Тектоническое районирование как основа прогноза остаточных перспектив нефтегазоносности Припятского прогиба / В. Н. Бескопильный, 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 : Полеспечат, 2012. – С. 9–54.
2. **Геология Беларуси** / А. С. Махнач [и др.]. – Минск, 2001. – 815 с.
3. **Грудинин, А. С.** Литолого-фациальный анализ ланско-старооскольских отложений Речицкого нефтяного месторождения / А. С. Грудинин, Е. А. Напреенко // Літасфера. – 2015 – № 2 (43). – С. 37–45.
4. **Литология** и коллекторские свойства подселевых отложений Припятского прогиба / под ред. Л. А. Демидович, Т. А. Шевченко, Ф. Я. Бенсман – М. : Недра, 1981. – 220 с.
5. **Махнач, А. А.** Краткий очерк геологии Беларуси и смежных территорий / А. А. Махнач. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 190 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 04.08.2023

Рэцэнзент І. Р. Захарыя

АСАБЛІВАСЦІ ДАРАЗВЕДКІ АДКЛАДАЎ ПОЛАЦКАГА ГАРЫЗОНТУ І ЛАНСКАГА НАДГАРЫЗОНТУ РЭЧЫЦКАГА НАФТАВАГА РАДОВІШЧА З УЛІКАМ ЛІТОЛАГА-ФАЦЫЯЛЬНАГА АНАЛІЗУ

А. С. Грудзінін

Беларускі навукова-даследчы і праектны інстытут нафты (БелНДПІнафта)
вул. Кніжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: a.grudinin@beloil.by

Работа прысвечана адкрыццю новых залежаў нафты ў межах Рэчыцкага нафтавага радовішча па выніках праведзеных работ па даразведцы адкладаў полацкага гарызонту і ланскага надгарызонту, улічваючы даныя літолага-фацыяльнага аналізу. Прааналізаваны геалага-геафізічныя матэрыялы, атрыманыя па выніках свідравання разведаных і эксплуатацыйных свідравін, якія пацвердзілі прагнознае распаўсюджванне нафтапрадуктыўных адкладаў полацкага гарызонту і ланскага надгарызонту ў межах неразведаных блокаў (усходні і паўночны) Рэчыцкага радовішча, што прывяло да адкрыцця новых залежаў. Дзякуючы праведзенай даразведцы залежаў нафты полацка-ланскага рэзервуара і актыўнаму іх уцягванню ў распрацоўку, за перыяд з 2014 па 2022 г. гадавая здабыча нафты па аналізуемым гарызонтам вырасла з 45 да 214 ум. адз., вымаемая запасы прамысловых катэгорый павялічыліся з 1100 да 4000 ум. адз.

Ключавыя словы: Рэчыцкае нафтавае радовішча, адклады полацкага гарызонту і ланскага надгарызонту, літолага-фацыяльны аналіз, даразведка.

FEATURES OF ADDITIONAL DEPOSIT EXPLORATION OF THE POLOTSK HORIZON AND LAN SUPERHORIZON OF THE RECHITSKOE OIL FIELD CONSIDERING LITHOFACIES ANALYSIS

A. Grudinin

Belarusian Oil Research and Design Institute (BelNIPIneft)
15b Knizhnaya St, 246003, Gomel, Belarus
E-mail: a.grudinin@beloil.by

The paper is devoted to the discovery of new oil deposits within the Rechitskoe oil field based on the results of the work on additional deposit exploration of the Polotsky horizon and the Lansky superhorizon, taking into account the data of lithofacies analysis. The geological and geophysical data obtained from the results of drilling exploratory and production wells, which confirmed the predictive distribution of oil-productive deposits of the Polotsky horizon and the Lansky superhorizon within the unexplored blocks (eastern and northern) of the Rechitskoe field, that led to the discovery of new oil deposits are briefly analyzed. Thanks to the additional exploration of oil deposits in the Polotsky-Lansky reservoir and their active involvement in development, annual oil production over the period from 2014 to 2022 increased from 45 to 214 conditional units for the analyzed horizons and recoverable reserves of industrial categories increased from 1100 c. u. to 4000 c. u.

Keywords: Rechitskoe oil field, Polotsk horizon, Lan superhorizon, lithofacies analysis, additional exploration.

УДК: 550.4:552.57/.58

ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ И УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД В НИЖНЕФАМЕНСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БУЙНОВИЧСКО-НАРОВЛЯНСКОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ СТУПЕНИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Е. В. Бибикова

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: bibikovaev@gmail.com

Рассмотрено внутреннее строение нижнефаменских отложений центральной части Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени Припятского прогиба на примере Ельской площади. Изучено распределение органического вещества и его связь с литологическим составом породы. Установлена зависимость распределения органического вещества от обстановок формирования осадка в палеобассейне. Степень преобразованности органического вещества растет по мере погружения отложений межсолевого комплекса и достигает уровня МК1 с абсолютной отметки минус 4005 м на террасе Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени.

Ключевые слова: межсолевые отложения, тектоническая ступень, Южный район Припятского прогиба, нефтематеринские породы, зона генерации углеводородов.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение рассеянного органического вещества (РОВ) в отложениях Припятского прогиба было начато в 50-х гг. прошлого столетия [3]. К тому времени была разработана первая генетическая классификация органического вещества под руководством В. А. Успенского и О. А. Радченко [2]. В. А. Лапуть на основании изучения РОВ в осадочных формациях Припятского прогиба (его распределения, типа и окислительно-восстановительных свойств) провел геохимическое районирование Припятского прогиба по степени перспективности на нефть и газ [3]. В своих исследованиях он опирался на гипотезу И. М. Губкина об образовании нефти из РОВ, а также широко использовал представления А. И. Богомоллова и В. А. Успенского о химическом составе ОВ и его свойствах [10].

Большой вклад в изучение органического вещества Припятского прогиба внесли П. Д. Жуков, Л. Ф. Гармашева, Е. Ф. Никуленко и др. [5; 6; 15]. Е. Ф. Никуленко изучала РОВ пород различных стратиграфических горизонтов битумологическими методами: она в своей диссертационной работе (1977) доказала генетическую связь нефтей и битумоидов межсолевого и подсолевого комплексов Припятского прогиба [7]. В своих последующих работах Е. Ф. Никуленко изучила распределение РОВ и битумоидов в осадочных комплексах Припятского прогиба, литолого-фациальный тип РОВ, закономерности проявления катагенеза РОВ. В результате обобщения большого массива данных битумологических исследований РОВ ею вместе с В. А. Лапутем были выделены зоны нефтегазообразования и нефтенакопления в Припятском прогибе, а так-

же составлен прогноз качества ожидаемых нефтей в Припятском прогибе [3–5].

Анализы нефтематеринских пород пиролизическим методом по методике Rock-Eval 6 [18] в Республике Беларусь начаты в 90-х гг. прошлого века [5] на установке на базе масс-спектрометра МХ-7304 (БелНИГРИ – А. Н. Лысенко, Н. Л. Будейко), продолжены в 2000-х гг. на усовершенствованной пиролизической установке на базе масс-спектрометра МХ7304АМ в отделе нефти и газа БелНИГРИ под руководством И. Р. Захарии, в дальнейшем – в Государственном предприятии «НПЦ по геологии» (В. Г. Клименко, М. С. Шарик).

Целью данной статьи является геохимическая характеристика нефтематеринских пород нижнефаменских отложений верхнего девона в пределах центральной части Буйновичско-Наровлянской ступени на примере Ельской площади.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы, представленные в данной статье, включают результаты геохимических исследований керн по скважинам Южного района Припятского прогиба. Используются результаты битумологических и пиролизических исследований: 300 результатов пиролизического анализа на установке на базе масс-спектрометра МХ7304АМ в НПЦ по геологии, 490 результатов пиролизического анализа по данным Е. Ф. Никуленко [5].

При анализе нефтематеринских пород по пиролизическим и битумологическим данным применена разработанная авторами классификация, согласно которой выделяются нефтематеринские породы низкого, среднего и высокого качества [11].

В исследованиях использована структурная основа территории Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени Южного района Припятского прогиба поверхности петриковского горизонта нижнефаменских отложений [1]. Стратиграфическое расчленение межсолевых отложений выполнено в соответствии с утвержденными Стратиграфическими схемами докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси 2010 г. [14]. В работе проведена интерпретация геохимических данных с учетом результатов литолого-фациального анализа межсолевых отложений Южного района по данным С. М. Обровец [9].

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАЙОНЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Буйновичско-Наровлянская тектоническая ступень находится в Южном нефтеперспективном районе Припятского прогиба, плотность прогнозных ресурсов углеводородов здесь по данным последней проведенной переоценки составляет от 20–30 до 30–50 тыс. т/км² [12].

Припятский прогиб сформировался в течение позднефранско-раннепермской стадии развития рифтового грабена [13], зрелая (главная) фаза развития рифтового грабена приурочена ко времени образования нижнесоленосной, межсолевой и верхнесоленосной формаций. Осадконакопление в Южном районе Припятского палеорифта в задонско-петриковское время происходило под влиянием сноса обломочного материала с Украинского кристаллического щита [8]. На фоне постоянного поступления кластического материала в бассейн наиболее отличительными и значимыми являлись обстановки накопления турбидитовых отложений и дельтовых комплексов [8; 17].

По данным С. М. Обровец [9], на территории Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени и Южно-Припятского сбросо-блокового уступа в межсолевом комплексе выделено 11 литолого-фациальных зон (ЛФЗ). В западной части Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени на ее террасе выявлены литолого-фациальные зоны мелководные ЛФЗ-XVI и ЛФЗ-XVII. К гребневой части Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени приурочены литолого-фациальные зоны с сульфатными породами ЛФЗ-XV и ЛФЗ-XVI. К Южно-Припятскому сбросо-блоковому уступу приурочены литолого-фациальные зоны чаще мелководные с терригенным обломочным материалом: ЛФЗ-XXI, ЛФЗ-XXIV, ЛФЗ-XXV, ЛФЗ-XXVI. К подножию Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени приурочена ЛФЗ-XIX с дельтовым комплексом и частично относительно глубоководные ЛФЗ-XX, ЛФЗ-XXI, ЛФЗ-XXII, ЛФЗ-XXIII (рис. 1).

В данной работе рассмотрены наиболее погруженные межсолевые отложения центральной части

Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени и сопредельные территории с целью уточнения контуров зоны нефтеобразования в Ельской депрессии и аккумуляции углеводородов на локальных поднятиях в гребневой части Буйновичско-наровлянской тектонической ступени на Ельской площади (рис. 1, 2, 3). Изучаемая территория находится в пределах литолого-фациальных зон ЛФЗ-XXII на террасе Буйновичско-Наровлянской ступени, ЛФЗ-XV в гребневой части ступени, ЛФЗ-XXIII в Симоновичско-Аравичской региональной зоне локальных поднятий Южно-Припятского сбросо-блокового уступа [1]. Для создания геохимической модели генерации, миграции и аккумуляции углеводородов использованы геолого-геофизические данные и геохимические данные по скважинам 38, 28 и 26 Ельские, 43, 42 Ново-Ельские; в качестве структурной основы взята карта поверхности петриковских отложений под редакцией В. Н. Бескопыльного (2011). Ниже приведена интерпретация геохимических данных по горизонтам с учетом литолого-фациальных условий на изучаемой территории.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Домановичский горизонт. Включает в себя отложения, являющиеся переходными от франской нижнесоленосной толщи к собственно межсолевой толще, от галогенных отложений к образованиям морского бассейна нормальной солености, геохимическими методами изучен наименее подробно [16]. Поскважинные средние содержания органического углерода $C_{орг}$ в отложениях домановичского горизонта варьируют от 0,2 до 1,86 %. Следует отметить высокое качество нефтематеринских пород (согласно принятой автором классификации нефтематеринских пород) в районе скв. 38 Ельская в условиях уступа Южно-Припятского тектонического плеча, где взаимосвязанные поскважинные параметры, включающие содержание органического углерода ($C_{орг}$), содержание пиролитических углеводородов (S_2), индекс водорода (IH) составляют 1,86 %, 12,09 мг/г, 650 ед. соответственно. При смене литолого-фациальных и структурно-тектонических условий качество нефтематеринских пород в гребневой части ступени сменяется на среднее в скв. 41 Даниловская и низкое в скв. 29 Ельская, где содержание $C_{орг}$ в отложениях понижается до 0,2 %. Степень преобразованности РОВ определялась по данным пиролитических исследований: в условиях уступа Южно-Припятского тектонического плеча в скв. 38 Ельская среднее значение параметра T_{max} (°C) равно 436 °C, что говорит о возможных процессах генерации углеводородов. Севернее в гребневой части ступени в скв. 1 Восточно-Ельская значение параметра T_{max} понижается до 430 °C. Таким образом,

в домановичском горизонте нефтепроизводившие нефтематеринские породы высокого качества отмечаются в наиболее погруженной части Буйновичско-Наровлянской ступени.

Кузьмичевский горизонт. Отражает начало этапа трансгрессии в развитии Припятского осадочного бассейна, наступившего после этапа замкнутой солеродной лагуны, существовавшей в конце франского века [16]. Максимальное содержание органического вещества (ОВ) в породах наблюдается в условиях подножья Буйновичско-Наровлянской ступени в районе скв. 28 Ельская и составляет 4,52 % (рис. 4). В гребневой части Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени, в районе скв. 26 Ельская качество нефтематеринских пород ухудшается, но сохраняется высоким ($C_{орг} = 2,53$ %, $S_2 = 9,74$ мг/г, $ИН = 411$ ед.). В южном направлении в зоне Южно-Припятского уступа в скв. 38 Ельская качество нефтематеринских пород понижается до среднего ($C_{орг} = 1,22$ %, $S_2 = 5,32$ мг/г, $ИН = 251$ ед.).

По данным пиролитических исследований, в скв. 38 Ельская среднее значение в отложениях параметра $T_{мах}$ равно 435 °С, с глубины 4140 м (абсолютная отметка минус 4005 м) начинается стабильный рост параметра $T_{мах}$ от 430 °С и выше, что говорит о нахождении отложений в зоне генерации на стадии катагенеза МК1 (см. рис. 2). В северном направлении в скв. 26 Ельская значение параметра $T_{мах}$ понижается до 427 °С, что дает возможность оконтурить зону генерации, которая прослеживается в условиях подножья и частично террасы Буйновичско-Наровлянской ступени. Таким образом, нефтепроизводившие нефтематеринские породы высокого качества отмечаются в наиболее погруженной части Буйновичско-Наровлянской ступени. Выявлена зона генерации УВ с абсолютной отметки минус 4005 м, отложения зоны генерации были вскрыты скважинами 28 и 38 Ельские, где в кузьмичевских отложениях отмечены нефтепроявления в виде выпотов нефти (см. рис. 2).

Тонежский горизонт. В тонежское время наблюдается усиление сноса терригенного материала с Украинского щита (рис. 5). В связи с вышеизложенным в отложениях тонежского горизонта в районе Ельской площади отмечается тенденция изменения качества ОВ в связи с изменением литологического состава пород. По данным ряда авторов, территория ЛФЗ-ХV в тонежское время формировалась в условиях подводных склонов Наровлянских островов [9]. Исследованы разрезы скважин 29, 26, 42, 43 Ельские и 41 Даниловская, отмечается обогащенность отложений ОВ. Предполагается наличие нефтематеринских пород высокого качества, однако они могут быть слабо преобразованы, за исключением отдельных слоев. Средние поскважинные по-

казатели $C_{орг}$ изменяются от 1,7 % в скв. 26 Ельская ($S_2 = 3,7$ мг/г) до 2,2 % ($S_2 = 13,8$ мг/г) в скв. 42 Ново-Ельская. Однако на северо-запад, в сторону скв. 29 Ельская, и на северо-восток, в сторону скв. 41 Даниловская, показатели $C_{орг}$ снижаются до 0,9 %. Видимо, такое распределение $C_{орг}$ связано со следующими моментами: показатель $C_{орг}$ по скв. 41 Даниловская единичный, им можно пренебречь; в скв. 26 Ельская наблюдается переслаивание нефтематеринских пород низкого и высокого качества; в скв. 29 Ельская не отмечено пластов с нефтематеринскими породами высокого качества. Средние поскважинные показатели S_2 по скважинам 26 Ельская и 42 Ново-Ельская сложно сравнивать вследствие того, что в скважине 26 Ельская образцы отобраны из нижней части горизонта (S_2 изменяется от 0,5 до 7,74 мг/г), а в скв. 42 Ново-Ельская – из верхней части горизонта (от 1,3 до 41,67 мг/г). Таким образом, по битумологическим данным в тонежском горизонте на территории ЛФЗ-ХV по мере приближения к палеоостровам количество пластов с нефтематеринскими породами высокого качества уменьшается.

В пределах ЛФЗ-ХХІІ на террасе Буйновичско-Наровлянской ступени предполагается наличие зоны генерации в районе скв. 28 Ельская, а в гребневой части одноименной ступени (ЛФЗ-ХV) в скважинах 26 Ельская и 42 Ново-Ельская степень преобразованности уменьшается. Отмечены нефтепроявления в скв. 42 Ново-Ельская в виде выпотов нефти в верхней части тонежского горизонта. В скв. 43 Ново-Ельская в интервале 2527–2600 м из тонежского горизонта получен фильтрат глинистого раствора с пленкой нефти ($Q = 2,52$ м³/сут). Скважина 28 Ельская находится в наиболее погруженной части ступени (источник миграции), следовательно, там отмечается недостаток миграционных и избыток эмиграционных УВ. Этот факт подтверждается распределением хлороформенного битумоида (ХБ) и битумоидного коэффициента (β) в тонежских отложениях. Так, в скв. 28 Ельская показатели ХБ наименьшие (0,121–0,142 %), затем показатели ХБ растут в сторону скважины 29 Ельская до 0,422 % при β 44,89 % и на юг в сторону скважины 38 Ельская, где ХБ варьирует в интервале 0,016–0,222 % при β равном 1,3–9,25 %. Тонежские отложения, вскрытые скв. 28 Ельская, относятся к зоне генерации и являются источником миграции УВ. В пределах Ю-Николаевской площади зона генерации не проявляется. Южнее, в пределах ЛФЗ-ХХІІІ в районе скв. 38 Ельская, зона генерации постепенно выклинивается, а также понижается качество нефтематеринских пород до среднего ($C_{орг} = 1,55$ %, $S_2 = 3,0$ мг/г, $ИН = 208$ ед.).

Тремлянский горизонт. Нефтематеринские породы тремлянского горизонта в наиболее погружен-

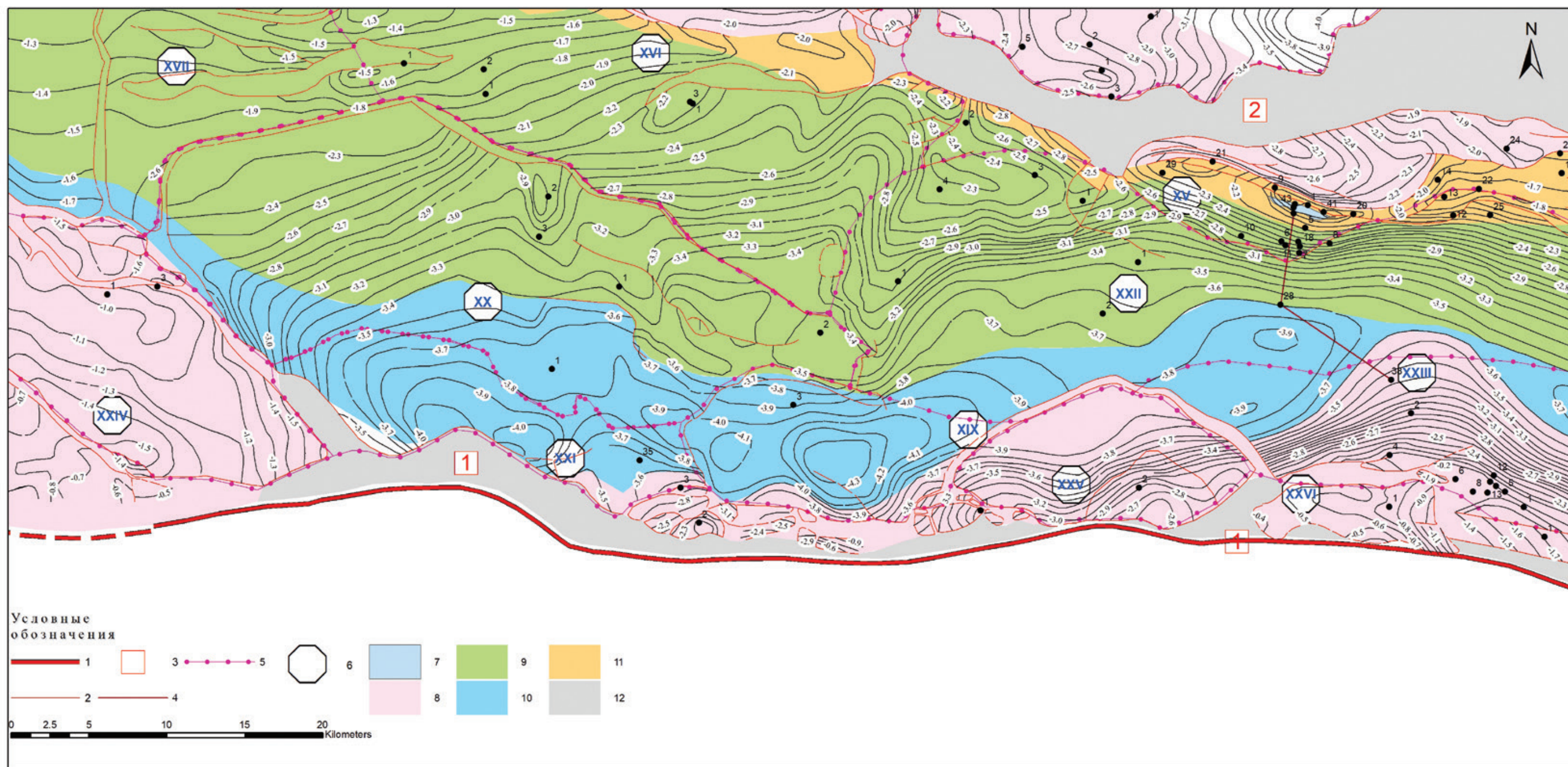


Рисунок 1 - Карта-схема литолого-фациального районирования Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени по данным С. М. Обровец.

Структурная основа - карта поверхности петриковских отложений раннего фамена под ред В. Н. Бескопильного и др. (2011)

Условные обозначения: 1 - суперрегиональный разлом первого порядка; 2 - региональный разлом второго порядка; 3 - номера разломов: 1 Южно-Припятский, 2 Буйновичско-Наровлянский; 4 - геологический профиль; 5 - границы литолого-фациальных зон; 6 - нумерация литолого-фациальных зон: XV (ЛФЗ-XV) глинисто-карбонатная с себховыми фациями и вулканогенным материалом, литолого-фациальная зона XVI (ЛФЗ-XVI) мелководная глинисто-карбонатная с сульфатными породами и седиментационным доломитом, литолого-фациальная зона XVII (ЛФЗ-XVII) известняково-органогенная с оолитовыми и себховыми фациями, литолого-фациальная зона XIX (ЛФЗ-XIX) глинисто-карбонатная терригенная с дельтовым комплексом, литолого-фациальная зона XX (ЛФЗ-XX) карбонатно-терригенная турбидитовая с сульфатными породами, литолого-фациальная зона XXI (ЛФЗ-XXI) карбонатно-терригенная турбидитовая, литолого-фациальная зона XXII (ЛФЗ-XXII) обломочно-карбонатная глинистая с каменной солью, литолого-фациальная зона XXIII (ЛФЗ-XXIII) карбонатно-глинистая обломочная, литолого-фациальная зона XXIV (ЛФЗ-XXIV) мелководная карбонатно-терригенная, литолого-фациальная зона XXV (ЛФЗ-XXV) грубообломочная терригенная, литолого-фациальная зона XXVI (ЛФЗ-XXVI) мелководная прибрежная глинисто-сульфатно-карбонатная с неустойчивым характером осадконакопления;

7 - Ново-Ельское месторождение нефти; 8 - зона уступов Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени и Северо-Припятского плеча; 9 - терраса Буйновичско-Наровлянской ступени; 10 - подножье Буйновичско-Наровлянской ступени;

11 - гребень Буйновичско-Наровлянской ступени; 12 - зона отсутствия межсолевых отложений

ной части Ельской депрессии не изучены, однако получены результаты пиролитических и битумологических исследований нефтематеринских пород в гребневой части ступени по скважинам 26 Ельская, 42 Ново-Ельская и 41 Даниловская. Качество нефтематеринских пород в скв. 26 Ельская преимущественно высокое: ($C_{орг} = 3,87\%$, $S_2 = 17,32$ мг/г, $ИН = 355$ ед) (рис. 6). РОВ в породах тремлянских отложений, исходя из анализа пиролитических данных по скв. 26 Ельская, не преобразовано. Между скважинами 26 и 28 Ельские по результатам сейсмических работ выявлен Великопольско-Стреличевский разлом. В зоне Великопольско-Стреличевского разлома пробурены скважины 2, 10, 11, 17, 18, 8, 7 Ельские. В разрезах скважин 21, 8, 11, 17 получены нефтегазопроявления. В скв. 2 Ельская в верхнесолевых отложениях при испытании в колонне из инт. 2431–2432 м получена нефть дебитом $0,7$ м³/сут. В скв. 7 Ельская при забое 2783,4 м произошел выброс, перешедший в газонефтяной фонтан. Большинство скважин бурилось на верхнесоленосные отложения, поэтому проследить пути миграции по Ельскому разлому сложно, однако многочисленные нефтепроявления могут быть свидетельством того, что разлом пролегает вкrest путей миграции из зоны генерации нефти.

В скв. 26 Ельская отмечаются многочисленные нефтепроявления в верхах тремлянских, вишанских, туровских и дроздовских отложений. В скважине, согласно построениям на разрезе (см. рис. 2), тремлянские отложения контактируют с кузьмичевскими и тонежскими отложениями. В скв. 43 Ново-Ельская в кузьмичевско-тонежских отложениях при испытании интервала 2600–2527 м получен фильтрат глинистого раствора с пленкой нефти дебитом $2,52$ м³/сут, в первом стволе (скв. 42 Ново-Ельская) отмечаются нефтепроявления в тонежских и тремлянских отложениях.

Вишанский горизонт. В пределах ЛФЗ-ХV в скважинах 21 Ельская и 43 Ново-Ельская выявлены нефтематеринские породы среднего качества. Нефтематеринские породы высокого качества выявлены в обстановках осадконакопления в пределах ЛФЗ-XXII в скв. 1 Ю-Николаевская, где средние значения параметров $C_{орг}$, S_2 , $ИН$ для вишанского горизонта составляют $2,2\%$, $5,92$ мг/г, 191 ед. соответственно, тип ОВ смешанный, преимущественно с преобладанием гумусовой составляющей (рис. 7).

Мощность вишанских отложений значительно возрастает в районе Ельской (скв. 38) и Восточно-Выступовичской площадей за счет терригенных пород. В связи с этим среднее поскважинное содержание $C_{орг}$ несколько понижается с $1,7\%$ в скв. 28 Ельская до $1,36\%$ в скв. 38 Ельская. Наиболее низкие значения $C_{орг}$ ($0,32\%$) отмечаются в скв.

6 В-Выступовичская. Таким образом, в отложениях вишанского горизонта выявлена связь палеогеоморфологических условий осадконакопления и геохимических параметров ОВ.

Туровский горизонт. В отложениях туровского горизонта относительно отложений задонского надгоризонта в целом следует отметить рост значений $C_{орг}$ (рис. 8) и улучшение качества нефтематеринских пород, однако ОВ в породах слабо преобразовано. Исключение составляет участок в районе скв. 1 Николаевская, где по данным пиролитического анализа выделены пласты с повышенными значениями T_{max} (более 430 °С). Также следует отметить, что для отложений туровского горизонта на Николаевской площади характерно появление пластов, обогащенных ОВ первого типа, где $ИН$ превышает 500 усл. ед.

Дроздовский горизонт. Мощности дроздовских отложений в скважинах 1, 4 Николаевские, 26 Ельская значительно увеличиваются относительно мощностей туровского горизонта за счет мощных пластов песчаников. Это сильно повлияло на распределение ОВ в породах (рис. 9). Пласты песчаников обеднены РОВ, соответственно, содержание $C_{орг}$, S_2 , $ИН$ в них понижается и ухудшается качество ОВ.

В скважинах 42 Ново-Ельская и 26 Ельская отмечаются локальные аномалии по параметру T_{max} . Локальная преобразованность ОВ в породах может быть связана с влиянием глубинного Буйновичско-Наровлянского разлома, который ограничивает Ново-Ельское месторождение с севера. Аномалии T_{max} в скв. 42 Ново-Ельская сопровождаются всплесками значений индекса продуктивности IP до $0,48$ ед.

Песчаники турбидитового генезиса приносят в отложения ОВ с суши, чаще третьего типа, и смешиваются с морскими тонкодисперсными осадками, в итоге получается ОВ смешанного типа. Например, в скв. 1 Южно-Николаевская среднее содержание параметров $C_{орг}$, S_2 , $ИН$ следующее: $1,4\%$, $3,9$ мг/г, 218 ед. соответственно, т. е. нефтематеринская порода среднего качества, показания T_{max} варьируют в интервале 419 – 427 °С. Следовательно, ОВ недостаточно преобразовано, однако дроздовские отложения могут служить флюидопроводником для микронепти из предполагаемой автором зоны генерации, которая находится в наиболее погруженных зонах подножья и террасы Наровлянского-Ельской тектонической ступени. Косвенными признаками справедливости данного предположения являются аномалии $ХБ$ и β в скважинах 26 и 29 Ельские в елецких отложениях по данным Е. Ф. Никуленко [15].

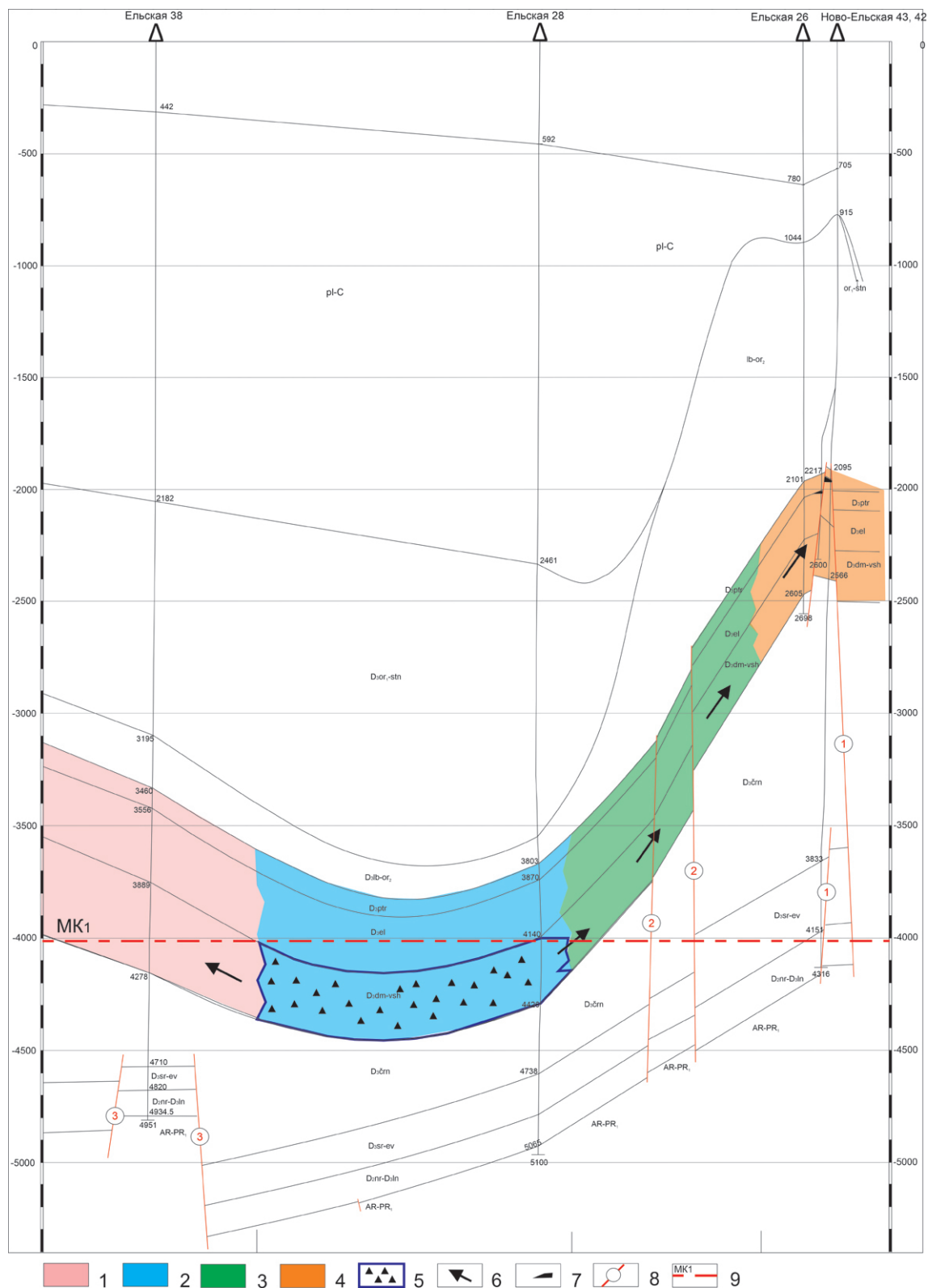


Рисунок 2 - Геологический разрез по линии скважин Ельские 26, 28, 38, Ново-Ельские 42, 43.

Масштаб гориз. 1:50 000, вертикал. 1:10 000

Условные обозначения: 1 - уступовая зона Южно-Припятского плеча; 2 - подножье Буйновичско-Наровлянской ступени; 3 - терраса Буйновичско-Наровлянской ступени; 4 - гребень Буйновичско-Наровлянской ступени; 5 - нефтепроизводившие породы; 6 - предполагаемое направление миграции микронепти; 7 - Ново-Ельское месторождение нефти; 8 - разломы с нумерацией: 1 - Буйновичско-Наровлянский, 2 - Великопольско-Стреличевский, 3 - Симоновичско-Аравичский; 9 - граница зоны генерации

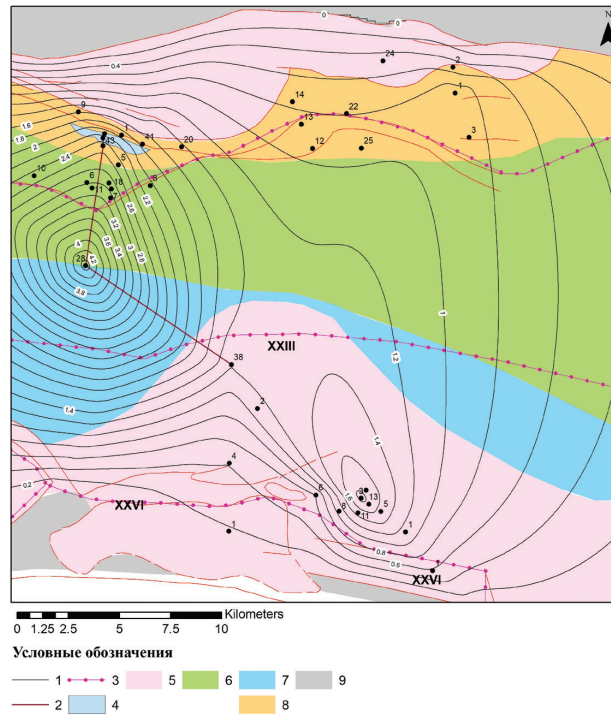


Рисунок 4 - Карта-схема распределения поскважинного содержания органического углерода в породах кузьмичевского горизонта

Условные обозначения: 1 - изолинии содержания органического углерода в породах; 2 - геологический профиль; 3 - границы литолого-фациальных зон по данным С. М. Обровец; 4 - Ново-Ельское месторождение нефти; 5 - зона уступов Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени и Северо-Припятского плеча; 6 - терраса Буйновичско-Наровлянской ступени; 7 - подножье Буйновичско-Наровлянской ступени; 8 - гребень Буйновичско-Наровлянской ступени; 9 - зона отсутствия межселевых отложений

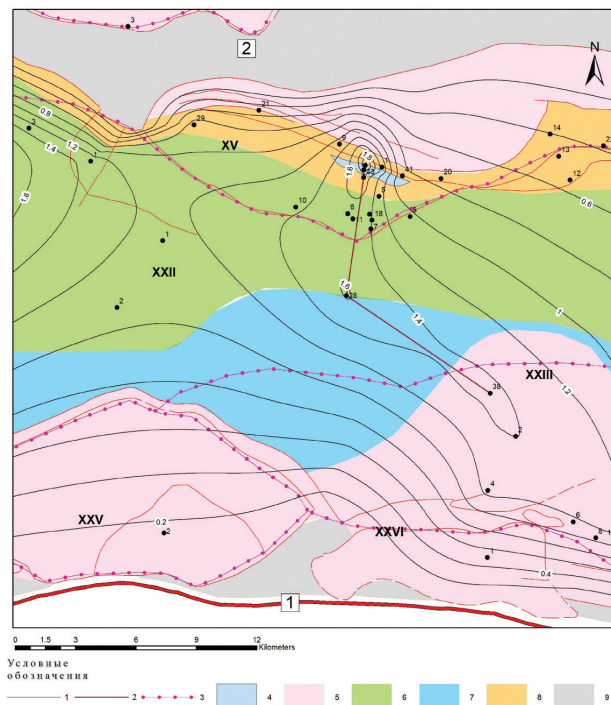
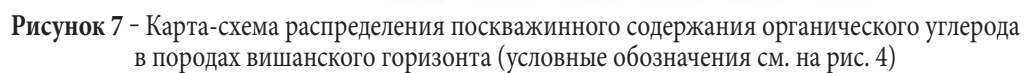
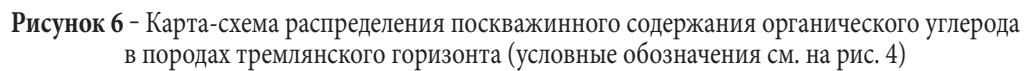


Рисунок 5 - Карта-схема распределения поскважинного содержания органического углерода в породах тонезжского горизонта (условные обозначения см. на рис. 4)



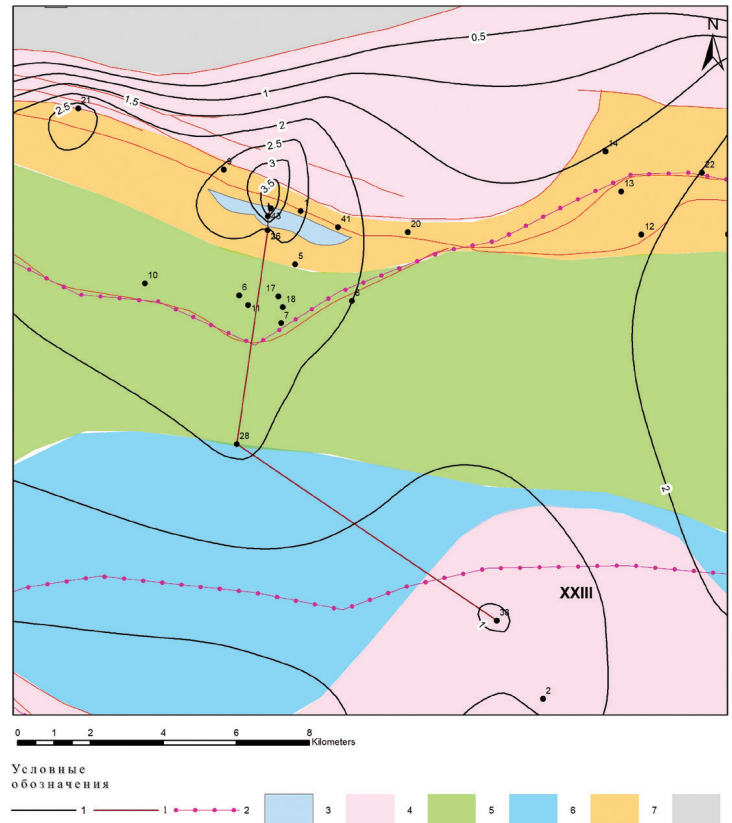


Рисунок 8 - Карта-схема распределения поскважинного содержания органического углерода в породах туровского горизонта (условные обозначения см. на рис. 4)

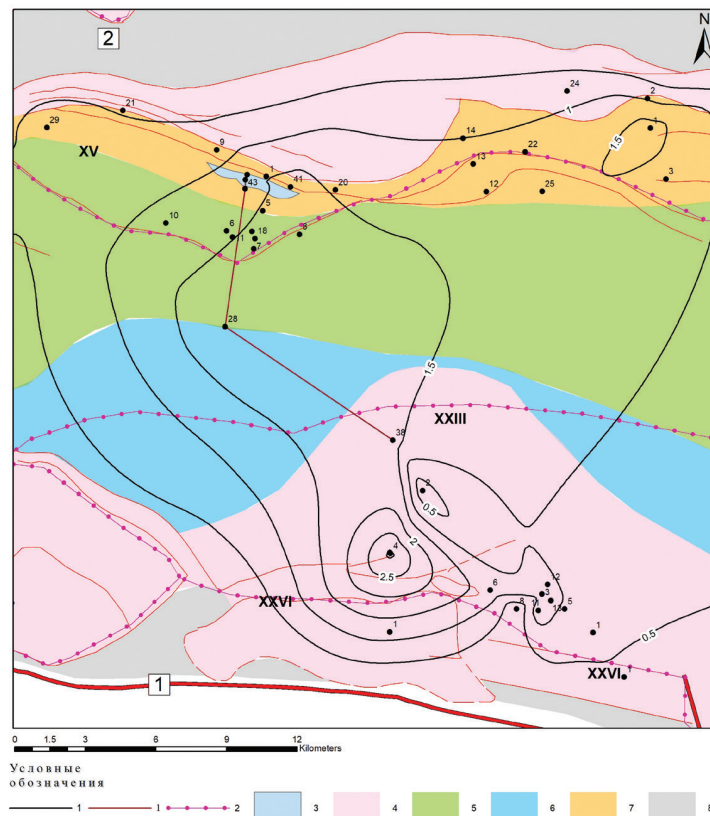


Рисунок 9 - Карта-схема распределения поскважинного содержания органического углерода в породах дроздовского горизонта (условные обозначения см. на рис. 4)

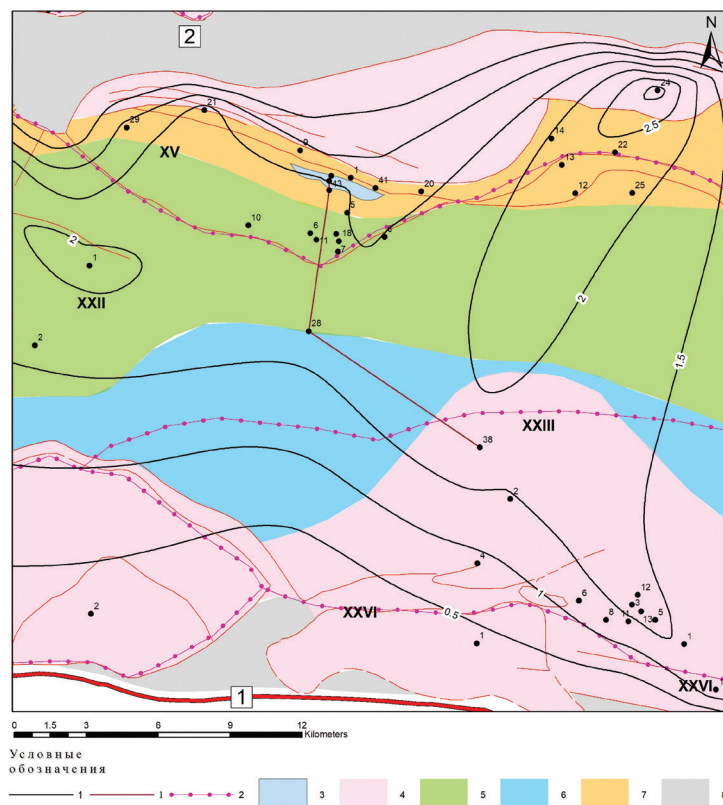


Рисунок 10 – Карта-схема распределения поскважинного содержания органического углерода в породах петриковских отложений (условные обозначения см. на рис. 4)

Петриковский горизонт. В петриковских отложениях понижение качества ОВ отмечается на Кировской (скв. 1), Восточно-Выступовичской (скв. 2) и Ельской (скв. 42 Ново-Ельская, 41 Даниловская) площадях в пределах ЛФЗ-ХV и ЛФЗ-XXIII (рис. 10). В пределах Восточно-Выступовичской площади в зоне палеодолины с турбидитовыми течениями происходило захоронение ОВ преимущественно третьего типа с пониженным содержанием S_2 , стадия преобразования соответствует уровню ПКЗ.

В пределах территории Южно-Ельской подводящей возвышенности в скважинах 1 Николаевская и 29 Ельская характерно пониженное поскважинное содержание C_{org} , равное 0,7 и 1,2 % соответственно, в скважинах 21 и 26 Ельские несколько повышается поскважинное содержание C_{org} до 1,7 и 1,75 %. По данным пиролиза, при сравнении геохимических параметров ОВ в породах из скважин 1 Николаевская и 26 Ельская, видно, что для них характерно одинаково незначительное содержание S_2 – в среднем 1,6 мг/г. Однако в скв. 1 Николаевская в петриковских отложениях встречаются пропластки с повышенным содержанием C_{org} , S_2 , ИН до 1,4 %, 5,4 мг/г, 588 ед. соответственно. Также выявлено локальное повышение качества нефтематеринских пород в скв. 38 Ельская на террасе Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени, где средние значения пара-

метров C_{org} , S_2 , ИН достигают 2,02 %, 5,92 мг/г, 262 ед. соответственно. Таким образом, в петриковских отложениях отмечаются локальные повышения качества нефтематеринских пород, однако тип ОВ преимущественно континентальный или смешанный, степень преобразованности ОВ слабая, процессов генерации УВ, видимо, не происходило.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований установлено, что для межсоловых отложений в пределах литолого-фациальных зон ЛФЗ-XXII на террасе Буйновичско-Наровлянской ступени, ЛФЗ-ХV в гребневой части ступени, ЛФЗ-XXIII в Симоновичско-Аравичской региональной зоне локальных поднятий Южно-Припятского сбросо-блокового уступа смена условий осадконакопления приводит к изменению геохимических показателей качества нефтематеринских пород C_{org} , ИН, S_2 . Наиболее благоприятными условиями для накопления и сохранения ОВ является территория ЛФЗ-XXII на террасе и в условиях подножья Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени.

В условиях Южно-Припятского сбросо-блокового уступа, для которого характерны литолого-фациальные зоны мелководные с терригенным об-

ломочным материалом, качество нефтематеринских пород понижается до среднего и низкого.

На основе проведенного анализа геохимических данных выявлена небольшая по площади зона гене-

рации УВ, которая охватывает задонские отложения в условиях подножья и террасы Буйновичско-Наровлянской тектонической ступени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бескопыльный, В. Н.** Тектоническое районирование как основа прогноза остаточных перспектив нефтегазоносности Припятского прогиба / В. Н. Бескопыльный [и др.] // Потенциал добычи горючих ископаемых в Беларуси и прогноз его реализации в первой половине XXI века. – Гомель : ПО «Белоруснефть», 2012. – С. 9–54.
2. **Геология** и геохимия нефти и газа : учебник / О. К. Баженова [и др.]; под ред. Б. А. Соколова. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 384 с.
3. **Лапуть, В. А.** Геохимия нефтегазоносных отложений Белоруссии / В. А. Лапуть. – Минск : Наука и техника. – 1983. – 214 с.
4. **Лапуть, В. А.** Обоснование и выделение зон нефтеобразования и нефтенакпления / В. А. Лапуть, Е. Ф. Никуленко // Геология и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы / З. Л. Познякевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 1997. – С. 353–366.
5. **Никуленко, Е. Ф.** / Основные закономерности проявления катагенеза рассеянного органического вещества по площади и разрезу / Е. Ф. Никуленко // Геология и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы / З. Л. Познякевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 1997. – С. 334–344.
6. **Никуленко, Е. Ф.** Прогноз качества ожидаемых нефтей / Е. Ф. Никуленко // Геология и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы / З. Л. Познякевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 1997. – С. 381–390.
7. **Никуленко, Е. Ф.** Геохимические закономерности в изменении свойств и состава нефтей Припятского прогиба как основа для прогнозирования их типов и качества : дис. ... канд. геол.-мин. наук: 04.00.02 / Е. Ф. Никуленко. – Минск, 1977. – 232 с.
8. **Обровец, С. М.** Терригенный седиментогенез в бассейне Припятского палеорифта раннефаменского возраста и его роль в формировании литологических ловушек нефти // Материалы Междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы геологии Беларуси и смежных территорий», посвящ. 90-летию со дня рожд. акад. Нац. акад. наук Беларуси А. С. Махнач. – Минск : БелНИГРИ, 2008. – С. 199–206.
9. **Обровец, С. М.** Литолого-фациальное районирование отложений межсолевого комплекса Припятского прогиба – основа прогнозирования литологически ограниченных залежей углеводородов / С. М. Обровец, И. А. Яшин // Літасфера. – 2013. – № 2. – С. 90–101.
10. **Основы** генетической классификации битумов / В. А. Успенский [и др.]. – М. : Недра, 1964. – 267 с.
11. **Особенности** формирования нефтематеринских и углеводородсодержащих межсолевых отложений в западной части Южного района Припятского прогиба / Е. В. Бибилова [и др.] // Літасфера. – 2021. – № 1 (54). – С. 111–120.
12. **Ресурсная** база углеводородов Республики Беларусь: оценка, тенденции, прогнозы / И. Р. Захария [и др.] // Потенциал добычи горючих ископаемых в Беларуси и прогноз его реализации в первой половине XXI века. – Гомель : ПО «Белоруснефть», 2012. – С. 77–85.
13. **Палеотектоника** Белоруссии / под ред. Р. Г. Гарецкого. – Минск : Наука и техника, 1983. – 181 с.
14. **Стратиграфические** схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси: объяснит. записка / под ред. С. А. Кручека [и др.]. – Минск : БелНИГРИ, 2010. – 282 с.
15. **Перспективы** нефтегазоносности межсолевых отложений Южного нефтеперспективного района Припятского прогиба по геолого-геохимическим показателям / Е. Ф. Никуленко [и др.] // Геология, поиски и освоение месторождений полезных ископаемых Беларуси. – Минск : БЕЛГЕО, 2010. – С. 5–18.
16. **Стратиграфия** нижнефаменских (межсолевых) отложений Припятского прогиба / В. И. Пушкин [и др.]; под ред. академика Р. Г. Гарецкого. – Минск : Ин-т геолог. наук, 1995. – 140 с.
17. **Obrovets, S.** Pool oil Devonian deltas and turbidite deposits of the Pripyat paleorift // Abstracts 64 EAGE conference & exhibition. Florence. Italy. 27–30 may. 2002.
18. **Rock-Eval 6** Technology: Performances and Developments / F. Behar [et. al.]; Institut francais du petrole, Petrobras Research Center, Citade Universitaria. – Oil and Gas Science and Technology. – Rev. IFP. – 2001. – Vol. 56, № 2. – P. 111–134.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 11.09.2023

Рэцэнзент І. Р. Захарыя

КАРЬСНЫЯ ВЫКАПНІ

**ПРАЦЭСЫ ФАРМІРАВАННЯ НАФТАМАЦЫРЫНСКІХ І ВУГЛЕВАДАРОДЗМЯШЧАЛЬНЫХ
ПАРОД У НІЖНЕФАМЕНСКІХ АДКЛАДАХ ЦЭНТРАЛЬНАЙ ЧАСТКІ
БУЙНАВІЦКА-НАРАЎЛЯНСКОЙ ТЭКТАНІЧНАЙ СТУПЕНІ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ**

А. В. Бібікава

Дзяржаўнае прадпрыемства «НПЦ па геалогіі»
філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220084, г. Мінск, Беларусь
E-mail: bibikovaev@gmail.com

Разгледжана ўнутраная будова ніжнефаменскіх адкладаў цэнтральнай часткі Буйнавіцка-Нараўлянскай тэктанічнай ступені Прыпяцкага прагіну на прыкладзе Ельскай плошчы. Разгледжана размеркаванне арганічнага рэчыва і яго сувязь з літалагічным складам пароды. Устаноўлена залежнасць размеркавання арганічнага рэчыва ад умоў фарміравання асадку ў палеабасейне. Ступень пераўтварэння арганічнага рэчыва расце па меры нагружэння адкладаў міжсолевага комплексу і дасягае ўзроўню МК₁ з абсалютнай адзнакі мінус 4005 м на тэрасе Буйнавіцка-Нараўлянскай тэктанічнай ступені.

Ключавыя словы: міжсолевыя адклады, тэктанічная ступень, Паўднёвы раён Прыпяцкага прагіну, нафтаматэрыяльныя пароды, зона генерацыі вуглевадародаў.

**OIL-SOURCE AND HYDROCARBON-BEARING ROCK FORMATION PROCESSES
IN THE LOWER FAMENNIAN DEPOSITS OF THE CENTRAL PART
OF THE BUJNOVICHSKA-NARAULYANSKAYA STAGE OF THE PRIPYAT TROUGH**

A. Bibikava

State Enterprise «Research and Production Center in Geology»
branch «Institute of Geology»
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: bibikovaev@gmail.com

The internal structure of the lower Famennian deposits in the central part of the Bujnovichska-Narauyanskaya stage of the Pripyat trough is considered by the example of the Elskaya area. The distribution of organic matter and their relationship with the lithological composition of the rock were considered. The dependence of the organic matter distribution on the sediment formation conditions in the paleobasin has been established. The degree of organic matter transformation increases with the dipping of inter-salt deposits and reaches the level of MK₁ at absolute mark of minus 4005 m on the terrace of the Bujnovichska-Narauyanskaya tectonic stage.

Keywords: inter-salt deposits, tectonic stage, Southern region of the Pripyat trough, oil-source rocks, hydrocarbon generation zone.

УДК 476.12)553.982+52.578.2.061.4)

ПРОЯВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДАХ-КОЛЛЕКТОРАХ ПЕТРИКОВСКОЙ ЗАЛЕЖИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. А. Тишков, И. Ю. Мармылёв, Ю. С. Шпока, А. В. Шелюта

Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти (БелНИПИнефть)
ул. Книжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: nipi@beloil.by

В работе на примере петриковской залежи Геологического месторождения приведен анализ нефтепромысловых данных на предмет проявления деформационных процессов при снижении пластового давления в процессе выработки запасов нефти. Под действием деформационных процессов установлено снижение фазовой проницаемости пласта по нефти с последующим снижением коэффициента продуктивности добывающей скважины. Вместе с тем в процессе смыкания трещин и деформации скелета пород-коллекторов отмечается увеличение удельных отборов нефти, свидетельствующее о повышении эффективности нефтеизвлечения. Полученные результаты согласуются с проводившимися ранее в БелНИПИнефть лабораторными исследованиями кернового материала по определению коэффициента вытеснения нефти водой при снижении пластового давления, в ходе которых получены приросты коэффициента вытеснения нефти водой до 11,6 %.

Ключевые слова: деформационные процессы, порода-коллектор, проницаемость, пористость, коэффициент продуктивности.

ВВЕДЕНИЕ

Нефтяные месторождения Припятского прогиба имеют исключительно сложное геологическое строение и представлены широким многообразием типов коллекторов. Эффективность эксплуатации таких месторождений зависит от качества проектирования и управления разработкой, которое может быть достигнуто только при наличии достоверных данных о фильтрационно-емкостных свойствах нефтесодержащих пород. При этом речь идет не только о статических данных, полученных при стандартном исследовании образцов керна, но и о возможной динамике параметров фильтрационно-емкостных свойств под действием деформационных процессов в условиях снижения пластового давления в залежи.

Разработка нефтяных месторождений в режиме истощения пластовой энергии сопровождается ростом эффективных нагрузок на породы-коллекторы по мере выработки запасов углеводородов и связанных с ними пластовых вод. Рост эффективного давления приводит к развитию деформационных процессов, проявление которых рассматривается авторами настоящей работы по результатам анализа нефтепромысловых данных и гидродинамических исследований скважин (ГДИ), применительно к условиям петриковской залежи Геологического нефтяного месторождения.

ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Геологическое месторождение нефти было открыто в 2008 г. параметрической скв. 9001r (при заложении – 1s2 Прибортовой). В тектоническом отношении месторождение расположено на Прибортовом полиблоке в пределах уступа Речицко-Вишанской тектонической ступени Северного ареала структурных форм [1].

Промышленная нефтеносность месторождения связана с отложениями петриковского горизонта (D3ptr) центрального блока, представляющего собой по поверхности межсоловых отложений узкую вытянутую синклиналь, ориентированную длинной осью вдоль простирания Северного краевого разлома Припятского прогиба. С северо-востока структуру ограничивает южное нарушение системы блоков Северного краевого разлома, имеющего амплитуду 800–1300 м, с юга и юго-востока – предполагаемая зона отсутствия пород-коллекторов (рис. 1, 2).

Породы-коллекторы представлены водорослевыми известняками микрозернистыми, в различной степени глинистыми, неравномерно доломитизированными. Тип коллектора – трещинно-поровый. По напластованию отложений развиты субгоризонтальные открытые трещины. Повсеместно прослеживаются субвертикальные тектонические трещины, частично либо полностью залеченные доломитом, галитом и ангидритом.

КАРЯСНЫЯ ВЫКАПНІ

В. Н. Бескопыйный в своей работе [2] назвал данный тип коллектора катагенетическим плитчатым суперколлектором, проницаемость которого обусловлена катагенетической расщелинчатостью.

По данным интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС), открытая емкость пород-коллекторов находится в пределах 4,6–7,9 %; по результатам лабораторных исследований керн (59 образцов) – не превышает 2,6 %. Абсолютная проницаемость по керну (6 образцов), изменяется от 0,01 до 1,35 мД, тогда как по данным ГДИ от 06.02.2009 фазовая проницаемость по нефти (начальная) составила 297 мД. Значительные отличия параметров фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов по результатам лабораторных исследований и анализа нефтепромысловых данных связаны с проявлением масштабных эффектов при изучении сложнопостроенных карбонатных коллекторов [3, 4], обусловленных несоответствием размеров изучаемых образцов керн с областью исследований пород по данным ГИС и ГДИ, неполнотой выноса керн и др.

Промышленная эксплуатация залежи велась с января 2009 по май 2020 г. По состоянию на октябрь 2023 г. залежь не разрабатывается в связи со снижением пластового давления. Основная часть добытой нефти (99,7 %) приходится на скв. 9001г, в связи с чем в настоящей работе основной акцент сделан на данной скважине. Скважина 9001г эксплуатировалась с января 2009 по февраль 2013 г. фонтанным способом (добыто 63,2 % нефти), далее с марта 2013 по июнь 2019 г.

механизированным способом, с помощью электроцентробежного насоса (добыто 36,8 % нефти).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Характерной особенностью при разработке залежи, позволяющей провести анализ на предмет проявления деформационных процессов, является отсутствие организации системы поддержания пластового давления в ней, наряду с отсутствием активности водоносной области (аквифера), выраженное в минимальной обводненности продукции (на долю добытой воды за весь период эксплуатации скв. 9001г приходится всего 1 %).

Глубина залегания пород-коллекторов составляет 4335–4461 м. На данных глубинах породы-коллекторы испытывают литостатическое давление величиной порядка 97 МПа (расчет на вертикальную глубину верхних дыр перфорации (ВДП) скв. 9001г – 4301 м, плотность пород принята 2,3 г/см³ [5]).

Расчетное начальное пластовое давление на ВДП скв. 9001г составило 49,9 МПа, начальное эффективное давление, характеризующее напряженно-деформированное состояние геологической среды и определяемое как разность между литостатическим и пластовым, составило 47,1 МПа.

На рисунке 3 представлен график зависимости пластового и эффективного давлений, а также фазовой проницаемости удаленной зоны пласта по нефти от накопленного отбора нефти по скв. 9001г Геологического месторождения.

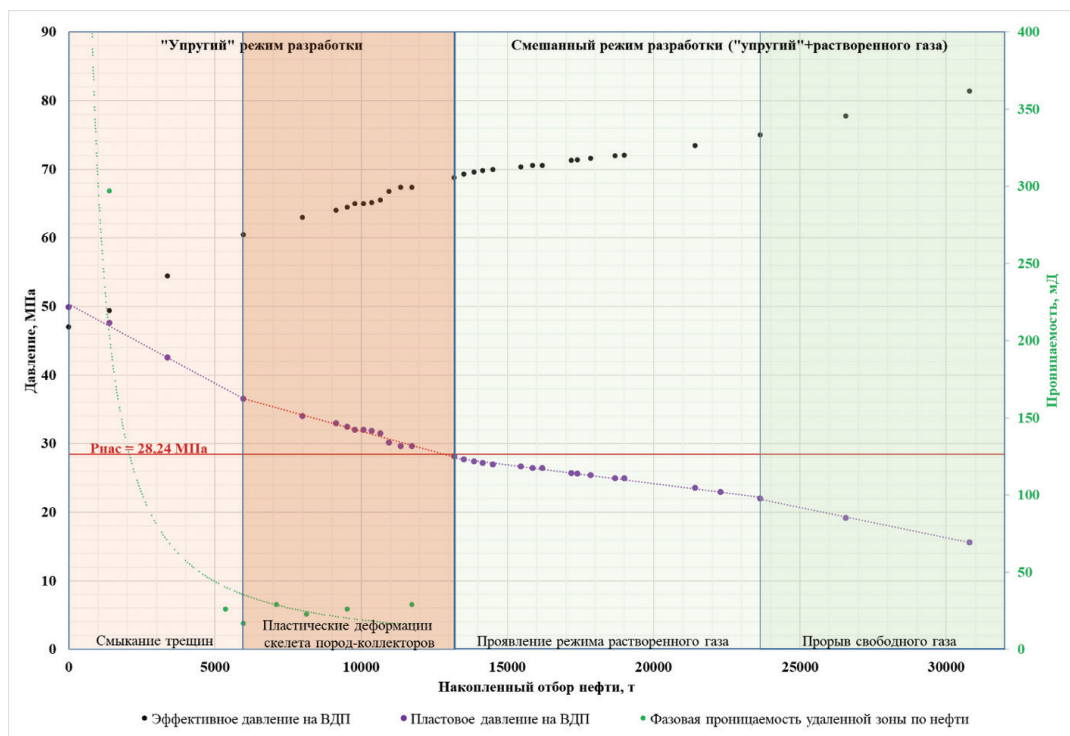


Рисунок 3 – График зависимости пластового и эффективного давлений, фазовой проницаемости удаленной зоны пласта по нефти от накопленного отбора нефти по скв. 9001г Геологического месторождения

Из рисунка 3 по конфигурации кривой пластового давления на ВДП, по сути представляющей собой кривую удельных отборов, выраженную в тоннах нефти на единицу изменения пластового давления (МПа), можно выделить четыре прямолинейных участка, отражающих, по мнению авторов, проявление двух режимов разработки залежи: «упругого» и смешанного («упругого» и растворенного газа).

«Упругий» режим отмечен авторами в кавычках небезосновательно. Так, за период эксплуатации петриковскую залежь Геологического месторождения, в соответствии с работой А. М. Ковхута и его коллег [6], по напряженно-деформированному состоянию (величине $P_{эф}$) можно отнести к классам от сильно напряженного ($P_{эф} = 30-50$ МПа) до предельно напряженного ($P_{эф} > 50$ МПа). По данным работ А. И. Лобова [7], А. А. Тишкова [8], рост эффективного давления свыше 30 МПа приводит к пластическим деформациям сложнопостроенных пород-коллекторов Припятского прогиба, вызывающим необратимое ухудшение их параметров фильтрационно-емкостных свойств. Также в работе Р. И. Медведского и К. В. Светлого [9] на примере схожих с рассматриваемым объектом глинисто-карбонатных пород баженовского типа установлено, что при эффективном давлении 20 МПа отмечаются пластические деформации, а при 62 МПа – полное разрушение. Учитывая представленные исследования, а также результаты анализа кривых удельных отборов на предмет проявления деформационных процессов в работе А. И. Белоножки [10], режим разработки петриковской залежи Геологического месторождения на первых двух прямолинейных отрезках кривой удельных отборов корректнее назвать упруго-пластическим или деформационным.

Из представленного на рисунке 3 графика можно выделить два этапа проявления деформационного режима. Первый этап – этап смыкания трещин – характеризуется наименьшими удельными отборами (444,8 т/МПа) наряду со значительным снижением коэффициента продуктивности (с 83,9 до 9,9 м³/сут × МПа) и фазовой проницаемости удаленной зоны пласта по нефти (с 297 до 17 мД) по мере снижения пластового давления. По результатам интерпретации двух кривых восстановления давления (КВД) (06.02.2009–01.08.2009), модель пласта соответствует модели с двойной пористостью со снижением относительной упругоэластичности трещин с 0,098 до 0,000003. Основными каналами фильтрации являются трещины, подпитываемые блоками матрицы (скелета породы). На данном этапе было добыто 19,37 % от накопленного по скв. 9001г отбора нефти.

Следующий этап проявления деформационного режима – деформации скелета пород-коллекторов. Начало данного этапа характеризуется выравниванием трещинной и матричной составляющих проницаемостей. По данным КВД от 20.08.2009, при фазовой проницаемости удаленной зоны пласта по нефти 17 мД модель двойной пористости не диагностируется, вместо нее выделяется модель однородного пласта. По результатам последующих КВД (22.11.2009–24.01.2011), при смене штуцера диаметром 6 мм на 4 мм отмечается некоторое увеличение и относительная стабилизация фазовой проницаемости по нефти на уровне 23–29 мД, коэффициента продуктивности на уровне 10,4–16,3 м³/сут × МПа. Примечательно, что по данным ГДИ снова диагностируется модель пласта с двойной пористостью. Очевидно, что уменьшение диаметра штуцера привело к снижению депрессии на пласт (до 3,4–3,9 МПа в сравнении с 6 МПа по КВД от 20.08.2009), что привело к частичному восстановлению проницаемости (рис. 4) [11, 12].

Данный этап по сравнению с предыдущим характеризуется значительным повышением эффективности нефтеизвлечения в виде практически двукратного прироста удельных отборов (до 863,7 т/МПа), что связано с увеличением сжимаемости пластовой системы, а также процессами облитерации и возможного разрушения пород-коллекторов ($P_{эф} = 60,5-68,8$ МПа), при которых происходит рост капиллярного давления с последующим вытеснением нефти из зон нединамической пористости (ранее застойных зон) [13]. За рассматриваемый период было добыто 23,4 % от накопленного по скв. 9001г отбора нефти.

При снижении пластового давления ниже давления насыщения нефти газом ($P_{нас} = 28,24$ МПа), наряду с продолжающимся деформационным режимом разработки залежи, отмечается проявление режима растворенного газа, которые в совокупности образуют смешанный режим. В течение данного этапа происходит смена способа эксплуатации скважины с фонтанного на механизированный, при этом наклон кривой удельных отборов не изменился. С момента проявления смешанного режима ГДИ с целью определения фильтрационных характеристик пласта не проводилось. За счет энергии расширяющегося газа, наряду с продолжающимися деформациями пород-коллекторов, удельные отборы нефти по скважине на данном этапе увеличились до 1690,6 т/МПа. За рассматриваемый период было добыто 34 % от накопленного по скв. 9001г отбора нефти. Данный этап является наиболее эффективным с позиции нефтеизвлечения [14].

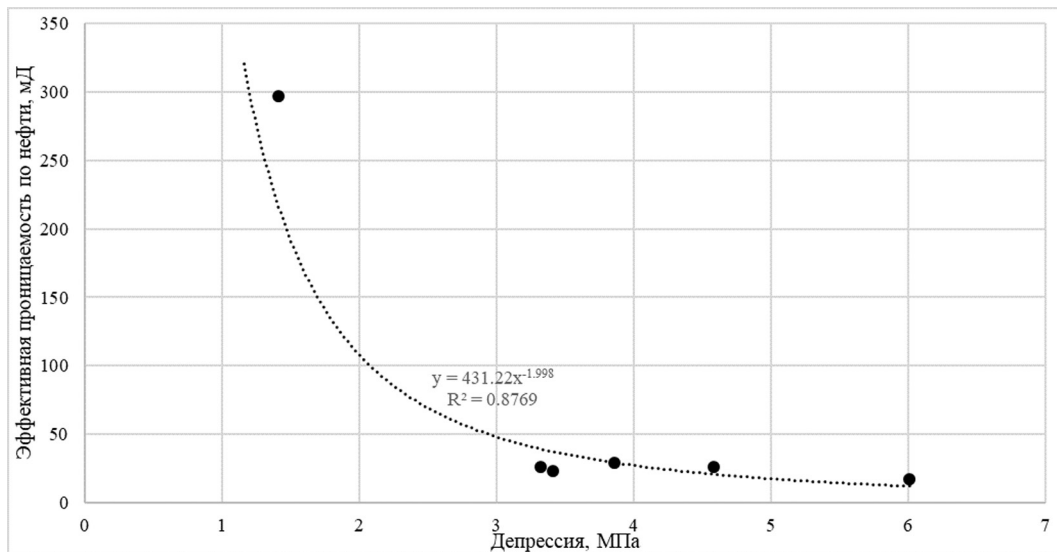


Рисунок 4 – График зависимости эффективной проницаемости удаленной зоны пласта по нефти от депрессии на пласт по скв. 9001r Геологическая

На заключительном этапе разработки петриковской залежи, наряду с дальнейшим проявлением деформационных процессов, отмечается снижение удельных отборов нефти до 1124,4 т/МПа, связанное, по мнению авторов, с прорывом свободного газа, однако замеров газового фактора, подтверждающих мнение авторов, на данном этапе проведено не было. За рассматриваемый период было добыто 23,2 % от накопленного по скв. 9001r отбора нефти (рис. 5).

Из рисунков 3, 5 можно отметить, что изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды при снижении пластового

давления способствует повышению эффективности процесса нефтеизвлечения в виде увеличения удельных отборов нефти на этапах пластического деформирования и возможного разрушения пород-коллекторов. Полученные результаты согласуются с данными лабораторных исследований по вытеснению нефти водой и последующим снижением пластового давления, проведенными ранее в БелНИПИнефть по ряду месторождений Припятского прогиба [15], в ходе которых отмечены приросты коэффициента вытеснения нефти за счет проявления деформационных процессов до 11,62 %.

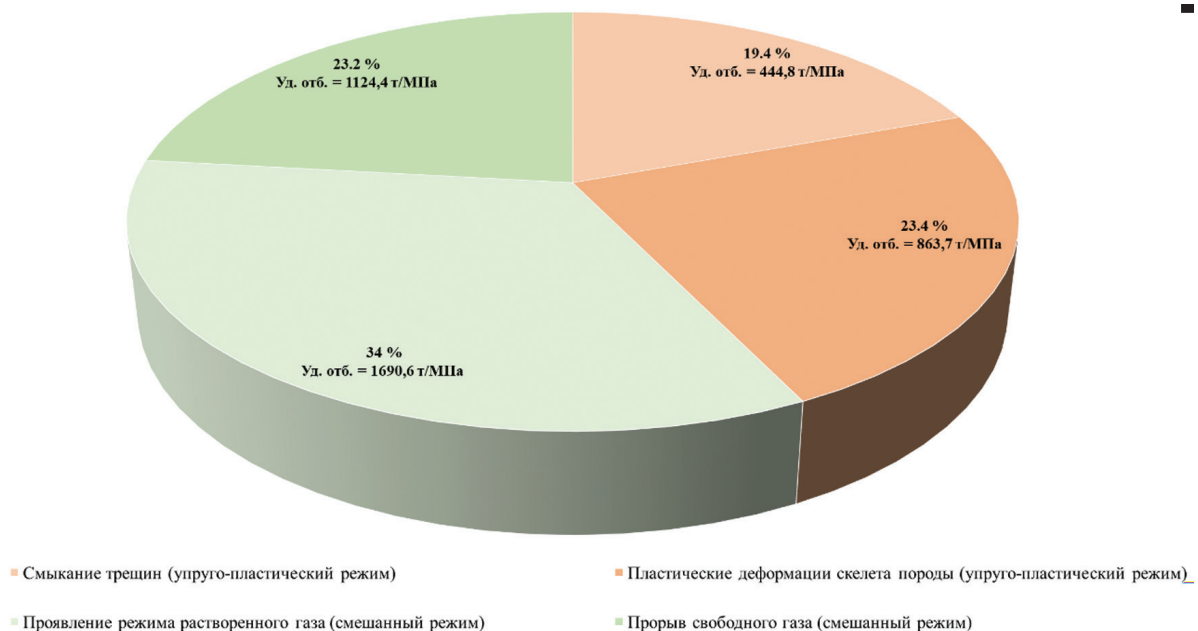


Рисунок 5 – Диаграмма распределения объемов добытой нефти и удельных отборов нефти по скв. 9001r Геологического месторождения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на примере анализа нефтепромысловых данных в период разработки петриковской залежи Геологического месторождения установлен факт проявления деформационных процессов в трещинно-поровом коллекторе, начальный период которых характеризовался резким снижением проницаемости пласта и продуктивности скважины с последующим выравниванием проницаемости блоков матрицы и трещин, способствующим вытеснению нефти из ранее застойных зон.

Полученные результаты свидетельствуют о важности учета функции изменения открытой емкости и проницаемости пород-коллекторов от пластового давления при гидродинамическом моделировании с целью корректного прогноза добычных возможностей скважин, эксплуатирующих залежи от сильно напряженного класса и выше ($P_{эф} > 30$ МПа), поскольку порода перестает вести себя как упругое тело, подчиненное закону Гука и подвергается пластическому сжатию с последующим разрушением [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бескопильный, В. Н.** Пояснительная записка к картам структурного районирования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов / В. Н. Бескопильный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик. – Гомель, 2011. – 48 с.
2. **Атлас** природных резервуаров и углеводородов нефтяных месторождений Беларуси / В. Н. Бескопильный [и др.]. – Гомель : Сож, 2009. – 216 с.
3. **Гурбатова, И. П.** Масштабные и анизотропные эффекты при экспериментальном изучении физических свойств сложнопостроенных карбонатных коллекторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.17 / И. П. Гурбатова ; Ин-т проблем нефти и газа РАН. – М., 2011. – 26 с.
4. **Глотов, А. В.** Влияние «масштабного» фактора на свойства пород баженовской свиты / А. В. Глотов, Н. Н. Михайлов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2020. – № 6 (342). – С. 42–47.
5. **Могилевич, М. В.** Физические свойства горных пород структурно-вещественных комплексов территории Беларуси и закономерности их изменения: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.01 / М. В. Могилевич; Ин-т геофизики и геохимии АН БССР. – Минск, 1974. – 18 с.
6. **Особенности** влияния техногенных геодинамических напряжений на свойства сложнопостроенных карбонатных коллекторов Припятского прогиба / А. М. Ковхуто [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 2. – С. 70–73.
7. **Лобов, А. И.** Упруго-деформационные эффекты в девонских породах-коллекторах нефти и газа Припятского прогиба : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.17 / А. И. Лобов ; Ин-т геол. наук АН Беларуси. – Минск, 1995. – 15 с.
8. **Тишков, А. А.** Геологическая эффективность оценки динамики фильтрационно-емкостных свойств коллекторов в условиях разработки нефтяных залежей Припятского прогиба : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.01.12 / А. А. Тишков ; Науч.-производств. центр по геологии. – Минск, 2019. – 27 с.
9. **Медведский, Р. И.** Характер деформационных процессов при разработке залежей баженовского типа и их вклад в пластовую энергию / Р. И. Медведский, К. В. Светлов // Геология нефти и газа. – 1986. – № 8. – С. 22–27.
10. **Белоножко, А. И.** Проявление деформационных процессов при разработке залежей нефти в карбонатных коллекторах Беларуси / А. И. Белоножко // Бурение и нефть. – 2008. – № 11. – С. 16–18.
11. **Денк, С. О.** Остаточные деформации в карбонатных трещиноватых коллекторах Пермского Приуралья / С. О. Денк // Нефтяное хозяйство. – 1994. – С. 26–28.
12. **Денк, С. О.** Деформации матрицы породы при испытании и освоении карбонатных трещиноватых коллекторов Пермского Приуралья / С. О. Денк // Нефтяное хозяйство. – 1995. – С. 46–49.
13. **Казаков, К. В.** Оценка влияния процессов, происходящих в терригенных коллекторах при снижении пластового давления ниже начального, на конечный коэффициент извлечения нефти (в порядке обобщения) / К. В. Казаков, К. А. Бравичев // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 7. – С. 84–87.
14. **Салажев, В. М.** Обобщение опыта и результатов геолого-промыслового анализа разработки залежей нефти в карбонатных отложениях месторождений Беларуси и России : пособие / В. М. Салажев. – Минск : Зор. Верасок, 2013. – 480 с.

15. **Тишков, А. А.** Снижение пластового давления в залежах нефти Припятского прогиба как геолого-гидродинамический способ повышения нефтеотдачи пластов / А. А. Тишков // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2017. – № 5. – С. 11–15.

16. **Кузьмин, Ю. О.** Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород / Ю. О. Кузьмин, В. С. Жуков. – М. : Горная книга, 2012. – 264 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 18.01.2024

Рэцэнзент І. Р. Захарыя

ПРАЯВА ДЭФАРМАЦЫЙНЫХ ПРАЦЭСАЎ У ПАРОДАХ-КАЛЕКТАРАХ ПЕТРЫКАЎСКОЙ ЗАЛЕЖЫ ГЕАЛАГІЧНАГА НАФТАВАГА РАДОВІШЧА ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ

А. А. Цішкоў, І. Ю. Мармылёў, Ю. С. Шпока, А. В. Шэлюта

Беларускі навукова-даследчы і праектны інстытут нафты (БелНДПІнафта)
вул. Кніжная, 15б, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: nipi@beloil.by

У працы на прыкладзе петрыкаўскай залежы Геалагічнага радовішча прыведзены аналіз нафтапрамысловых дадзеных на прадмет праявы дэфармацыйных працэсаў пры зніжэнні пластовага ціску падчас выпрацоўкі запасаў нафты. Пад дзеяннем дэфармацыйных працэсаў устаноўлена зніжэнне фазавай пранікальнасці пласта па нафце з наступным зніжэннем каэфіцыента прадуктыўнасці здабываючай свідравіны. Разам з тым у працэсе змыкання расколін і дэфармацыі шкелета парод-калектараў адзначаецца павелічэнне ўдзельных адбораў нафты, якое сведчыць аб павышэнні эфектыўнасці нафтаздабывання. Атрыманыя вынікі адпавядаюць лабараторным даследаванням кернавага матэрыялу па вызначэнні каэфіцыента выцяснення нафты вадой, якія праводзіліся раней у БелНДПІнафта, пры зніжэнні пластовага ціску, у ходзе якіх атрыманы прыросты каэфіцыента выцяснення нафты вадой да 11,6 %.

Ключавыя словы: дэфармацыйныя працэсы, парода-калектар, пранікальнасць, порыстасць, каэфіцыент прадуктыўнасці.

MANIFESTATION OF DEFORMATION PROCESSES IN RESERVOIR ROCKS OF THE PETRIKOVSKY DEPOSIT OF THE GEOLOGICAL OIL FIELD OF THE PRIPYAT TROUGH

A. Tishkov, I. Marmylov, Y. Shpoka, A. Sheliuta

Belarusian Oil Research and Design Institute (BelNIPIneft)
15b Knizhnaya St, 246003, Gomel, Belarus
E-mail: nipi@beloil.by

In this paper using the example of the petrikovsky deposit of the Geological field an analysis of oil field data was carried out for the manifestation of deformation processes with a decrease in reservoir pressure during the development of oil reserves. Under the influence of deformation processes, a decrease in the oil phase permeability of the formation was established, with a subsequent decrease in the productivity coefficient of the producing well. At the same time, in the process of closing cracks and deforming the skeleton of reservoir rocks, an increase in specific oil production is noted, indicating an increase in the efficiency of oil recovery. The results obtained are consistent with laboratory studies of core material previously carried out at BelNIPIneft to determine the coefficient of oil displacement by water when reservoir pressure decreases, during which increases in the coefficient of oil displacement by water were obtained up to 11,6 %.

Keywords: deformation processes, reservoir rock, permeability, porosity, productivity coefficient, well productivity factor.

УДК 556.3+550.8(476)

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ МЕЖСОЛЕВЫХ И ВЕРХНЕСОЛЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Н. И. Кондратенко

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
ул. Ирининская, 1, 246000, г. Гомель, Беларусь
E-mail: nvkondratenko@mail.ru

В статье приводится анализ гидрохимических и термодинамических данных межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны (ЮСТЗ) Припятского прогиба. На основании установленной взаимосвязи между гидрохимически однородными группами пластовых рассолов, градиентами пластовых давлений, пластовыми температурами построена пространственная гидрогеохимическая модель межсолевых и верхнесоленосных отложений ЮСТЗ. Предложен оптимальный комплекс локальных гидрогеохимических критериев оценки перспектив нефтегазоносности, обоснованы фоновые концентрации макро- и микрокомпонентов натурального гидрохимического поля межсолевых и верхнесоленосных отложений ЮСТЗ. Выполнен анализ перспектив нефтегазоносности разреза.

Результаты исследования рекомендуются при оценке перспектив нефтегазоносности фаменских отложений ЮСТЗ Припятского прогиба и оперативной оценке результатов опробования поисково-разведочных скважин.

Ключевые слова: пластовый рассол, пластовое давление, градиент пластового давления, пластовая температура, геотермический градиент, геотермическая ступень, гидрогеохимическая модель.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени в Припятском прогибе накопилось большое количество фактических данных по химическому, изотопному и газовому составу пластовых рассолов, по содержанию и распределению в них микроэлементов. Результаты изучения геохимии пластовых рассолов изложены в многочисленных работах А. П. Маркова, В. А. Филонова, М. А. Гатальского, К. И. Лукашова, П. А. Кисилева, Л. К. Берзиной (1961–1966 гг.), П. Г. Альтшулера, Я. Г. Грибика, А. П. Лаврова, Л. И. Шаповал, Ж. А. Герасимова, Г. В. Богомолова, А. В. Кудельского (1970–1982 гг.) и др.

Условиями формирования пластовых рассолов, гидрогеохимическими закономерностями их распространения занимались ученые В. А. Сулин, И. К. Игнатович, А. А. Карцев, А. М. Овчинников и др., для территории Припятского прогиба эти вопросы изложены в работах Г. В. Богомолова, В. П. Плотниковой, М. Ф. Козлова, М. Г. Медведевой, П. Г. Альтшулера, Я. Г. Грибика, А. П. Лаврова, Л. И. Шаповал, В. М. Шимановича и др.

В своих исследованиях А. П. Лавров [3] для Припятского прогиба выделил гидрогеологические области, районы и зоны. Гидрогеологические области – краевая, переходная и внутренняя – соответствуют зонам распространения инфильтрационных, седиментогенных и смешанных типов рассолов; районы – Северный, Центральный и Южный,

которые соответствуют Северному тектоническому району и Внутреннему грабену (Центральный и Южный район).

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕЖСОЛЕВЫХ И ВЕРХНЕСОЛЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

С целью изучения гидрогеологических условий межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны (ЮСТЗ) Припятского прогиба проведена комплексная интерпретация гидрохимических и термодинамических данных, которые положены в основу гидрогеохимического районирования и оценки перспектив нефтегазоносности изучаемого района.

Гидрохимические условия. С целью комплексной интерпретации гидрохимических данных межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны выполнен кластерный анализ химического состава пластовых рассолов в программе SP. S..S Statistics, позволяющий выделить несколько условно однородных гидрохимических групп рассолов из большого количества собранного фактического материала.

Задача выделения однородных гидрохимических групп пластовых рассолов решалась методом

К-средних с последующим нахождением главных компонент (факторный анализ) [15]. В качестве показателей пластовых рассолов использовались содержания ионов хлора, кальция, магния, суммарного содержания ионов натрия и калия, сульфатов, йода, брома, аммония, плотность пластовых рассолов. В исследовании использованы представительные гидрохимические данные (170 проб). Оценка представительности проб основана на использова-

нии принципов, изложенных в [10]. Всего выделено четыре гидрохимически однородные группы пластовых рассолов, представленные на соответствующих диаграммах (рис. 1), на которых приводятся величины концентраций компонентов, характеризующих каждую однородную в гидрохимическом отношении группу. Встречаемость однородных гидрохимических групп по комплексам отложений приводится в таблице 1.

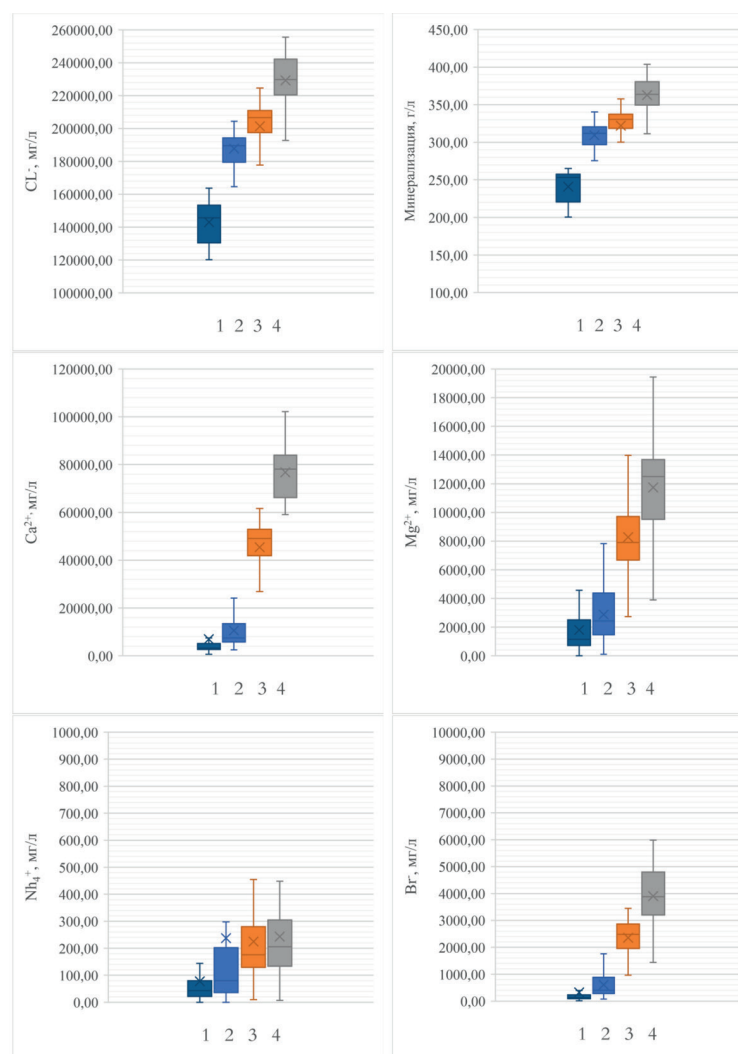


Рисунок 1 – Распределение минерализации, хлора, кальция, магния, аммония, брома в пластовых рассолах однородных групп межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба

Таблица 1 – Встречаемость однородных гидрохимических групп рассолов по комплексам отложений

Комплекс отложений, горизонт	Однородные гидрохимические группы рассолов			
	1	2	3	4
Верхнесоленосный	5	22	19	2
Межсолевой	16	31	49	36
Петриковский	4	8	11	5
Елецкий	8	9	18	16
Задонский	4	14	20	18

Физико-химическая характеристика пластовых рассолов гидрохимически однородных групп.

К первой однородной гидрохимической группе принадлежат крепкие рассолы с пониженной минерализацией 170–270 г/л (средняя по группе 237,3 г/л), невысоким содержанием кальция (среднее по группе 9742,1 мг/л), высоким содержанием сульфатов (до 5000 мг/л, среднее по группе 2461,3 мг/л), низким содержанием йода и брома (средние содержания по группе соответственно 4,7 и 487,6 мг/л). Рассолы первой гидрохимической группы инфильтрогенного генезиса хлоридно-натриевого состава, приурочены к раскрытым структурам. Пластовые рассолы первой однородной гидрохимической группы межсолевого водоносного комплекса распространены в западной части Южной структурно-тектонической зоны (Туровская депрессия, Боровская, Дубницкая площади), северной части – в районе Буйновичской, Заозерной, Николаевской площадей, в районе В-Ельских скважин № 3, № 12, на юге имеют локальное распространение на Демидовской и Кировской площадях. Пространственная морфология поля первой однородной гидрохимической группы пластовых рассолов верхнесоленосных отложений не совпадает с межсолевыми отложениями. Пластовые рассолы первой группы верхнесоленосных отложений распространены в западной и северной частях изучаемого района, также локально распространены на юге.

Ко второй однородной гидрохимической группе относятся крепкие рассолы со средним содержанием по группе в макрокомпонентном составе кальция 10155,6 мг/л, магния 2778,8 мг/л, натрия с калием 105366,9 мг/л сульфатов 1357,7 мг/л, в микрокомпонентном – брома 614,2 мг/л, йода 5,8 мг/л, аммония 231,4 мг/л, средней минерализацией 309,3 мг/л. Рассолы смешанного генезиса, слабометаморфизованные, приурочены к полураскрытым структурам. Пластовые рассолы второй гидрохимической группы распространены между «1» и «3–4» группами и являются переходными от седиментогенных рассолов к инфильтрогенным.

Третья однородная гидрохимическая группа представлена крепкими рассолами со средней минерализацией по группе 325,5 г/л, в макрокомпонентном составе кальция 45041,3 мг/л, магния 8080,7 мг/л, натрия с калием 63208,8 мг/л сульфатов 359,2 мг/л, в микрокомпонентном – брома 2229,2 мг/л, йода 15,1 мг/л, аммония 241,3 мг/л. Рассолы седиментогенного генезиса (единичные пробы смешанного генезиса), весьма метаморфизованные, приурочены к закрытым структурам (пробы смешанного генезиса отнесены по коррелятивным показателям к рассолам полузакрытых структур). Рассолы третьей гидрохимически однородной груп-

пы межсолевых отложений распространены в центральной части и на юго-востоке, верхнесоленосных отложений – на юго-западе и юго-востоке Южной структурно-тектонической зоны.

К четвертой однородной гидрохимической группе относятся весьма крепкие рассолы со средней минерализацией по группе 364,1 г/л, в макрокомпонентном составе кальция 76640,7 мг/л, магния 11810,6 мг/л, натрия с калием 41891,6 мг/л сульфатов 264,9 мг/л, в микрокомпонентном – брома 4006,7 мг/л, йода 16,1 мг/л, аммония 251,7 мг/л. Рассолы седиментогенного генезиса, весьма метаморфизованные, приурочены к весьма закрытым структурам. К четвертой однородной гидрохимической группе принадлежат рассолы задонских отложений Ново-Хуторской, Южно-Валавской, Гребеневской, Ольховской, Западно-Валавской, Антоновской площадей, елецко-петриковских отложений Ново-Рудненской, Выступовичской, Южно-Николаевской площадей, верхнесоленосных отложений Южно-Валавской площади.

Гидродинамические условия. Для выяснения гидродинамических условий Южного структурного района Припятского прогиба был проведен анализ пластовых давлений межсолевых и верхнесоленосных отложений.

Несмотря на то, что в изучаемом регионе пробурено около 180 глубоких геологоразведочных скважин, крайне низок процент достоверной гидродинамической информации. При этом неодинакова и изученность различных гидрогеологических комплексов как по площади, так и по разрезу. При составлении базы данных гидродинамических параметров обобщены все доступные материалы (опубликованные и фондовые), проанализировано около 300 замеров пластового давления.

Для ЮСТЗ, как и в целом для Припятского прогиба, гидродинамической особенностью является характер распределения давлений в гидрогеологических комплексах и между ними. В каждом комплексе пластовые давления увеличиваются с глубиной по прямолинейной зависимости. Однако распределение пластовых давлений от верхнесоленосного комплекса к межсолевому имеет инверсионный характер: на одних и тех же глубинах они максимальны в верхнесоленосном комплексе и уменьшаются вниз по разрезу в межсолевом (рис. 2).

Сравнение энергетического состояния геофлюидальной среды целесообразно выполнять по градиентам пластовых давлений, т. к. этот показатель характеризует среду объектов, находящихся на разных гипсометрических уровнях по единому однозначному показателю [6]. Градиент пластового давления (ГПД) – отношение величины пластового давления к глубине залегания пласта, т. е. измене-

ние величины пластового давления на единицу глубины, – определяется в размерности МПа на 100 м глубины [6]. В [13] приведены значения градиентов пластовых давлений по Припятскому прогибу; пласты-коллекторы подразделены на следующие:

аномально высокоградиентные (градиенты пластовых давлений $> 1,5$ МПа/100 м), высокоградиентные (1,20–1,49 МПа/100 м), среднеградиентные (1,00–1,19 МПа/100 м) и низкоградиентные ($< 1,0$ МПа/100 м).

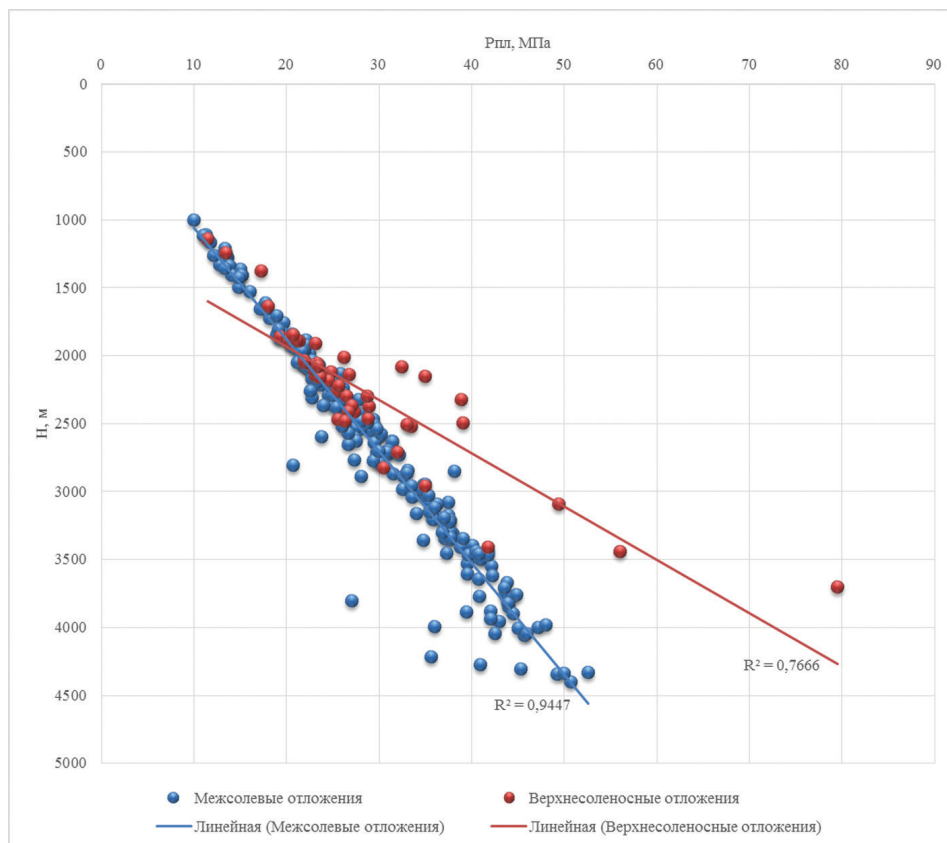


Рисунок 2 – Зависимость пластового давления от глубины для верхнесолоенного и межсолоевого комплексов Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба

В результате анализа пластовых давлений, ГПД с глубиной составлены карты гидродинамической напряженности межсоловых и верхнесолоенных отложений ЮСТЗ. Выделены низкоградиентные зоны (ГПД менее 1,0 МПа), среднеградиентные зоны (ГПД 1,0–1,19 МПа/100 м), высокоградиентные зоны (ГПД 1,2–1,49 МПа/100 м) и аномально высокоградиентные (ГПД более 1,5 МПа/100 м).

Вертикальная гидродинамическая зональность проявляется при анализе ГПД по гидрогеологическим комплексам.

Гидродинамическое поле задонских отложений характеризуется доминированием повышенных пластовых давлений (ГПД 1,00–1,19 МПа/100 м составляет 88,5 % от общего количества значений ГПД задонского надгоризонта). Максимальное значение ГПД составляет 1,21 МПа/100 м в скважинах № 1 Восточно-Ельской, № 31 Ново-Рудненской и № 17 Радомлянской. Низкоградиентная зона установлена в районе скважин № 38 Ельской, № 1 Николаевской, № 2 Туровской.

Гидродинамическое поле елецкого надгоризонта также характеризуется доминированием повышенных пластовых давлений (ГПД 1,00–1,19 МПа/100 м составляет 89,4 % от общего количества значений ГПД елецкого надгоризонта). Высокоградиентная зона установлена в юго-восточной части ЮСТЗ.

Гидродинамическое поле петриковских отложений также характеризуется преобладанием повышенных пластовых давлений. Низкоградиентная зона установлена в районе скважин № 2 Туровской и № 1 Симоновичской. Высокоградиентная зона установлена в северо-восточной части ЮСТЗ.

Межсоловые отложения ЮСТЗ Припятского прогиба характеризуются несколько пониженной напряженностью гидродинамического поля по сравнению с Северной структурной зоной, ГПД свыше 1,5 МПа/100 м не отмечены, ГПД 1,20–1,49 МПа/100 м составляют 5 % от общего количества значений ГПД, доминируют градиенты пластовых давлений 1,00–1,19 МПа/100 м (89 % от общего количества значений ГПД), низкоградиентных – 6 %.

Гидродинамическое поле верхнесоленосных отложений характеризуется преобладанием высоких и аномально высоких пластовых давлений. Аномальная высокоградиентная зона установлена в центральной части ЮСТЗ (ГПД выше 1,5 МПа/100 м, 14 % от общего количества значений ГПД верхнесоленосных отложений). Высокоградиентная зона имеет масштабное распространение, захватывая практически всю площадь ЮСТЗ. Среднеградиентная зона установлена в западной части и крайней южной части ЮСТЗ.

Геотермический режим. Проанализированы результаты испытаний пластов и комплекс ГИС (термометрия скважин) по 30 скважинам. Выполнен анализ геотермических данных и их интерпретация с разбивкой по стратиграфическим уровням, проанализированы точечные замеры температур в пласте, рассчитаны геотермические параметры пластов (геотермический градиент, геотермическая ступень). Структура геотермического поля неоднородна. Выделено 4 типа геотермического разреза, рассчитаны средние геотермические градиенты для каждого типа, и проведено районирование межсоловых и верхнесоленосных отложений ЮСТЗ. Структура геотермического поля межсоловых от-

ложений ЮСТЗ характеризуется геотермическими градиентами, не превышающими 2,5 °C/100 м. В западной части (скважины Туровские № 2, № 5; Симоновичская № 1, Малышевская № 1), северо-восточной (скв. № 1 Конотопская, скважины № 2, № 5 Стреличевские; юго-восточной (Радомлянские скважины и Антоновская № 1) части, на Ново-Хуторской и Гостовской площадях температурный градиент составляет 0,8–1,2 °C/100 м. На Валавской, Западно-Валавской, Аравичской площадях температурный градиент составляет 2,0–2,5 °C/100 м, прибортовые зоны региона и центральная ее часть характеризуются пониженными градиентами 1,2–1,6 °C/100 м (рис. 3). Выделяются локальные геотермические аномалии на Западно-Валавской, Ольховской, Восточно-Ельской, Желоньской площадях.

Температурное поле межсоловых отложений южной зоны изменяется в диапазоне 19 до 70 °C. Пластовая температура межсоловых отложений постепенно увеличивается от краевых зон (северной, западной, восточной) к центральной и южной прибортовой зоне. Фоновые значения температур составляют для кровли межсоловых отложений 36–45 °C, для подошвы – 43–53 °C.

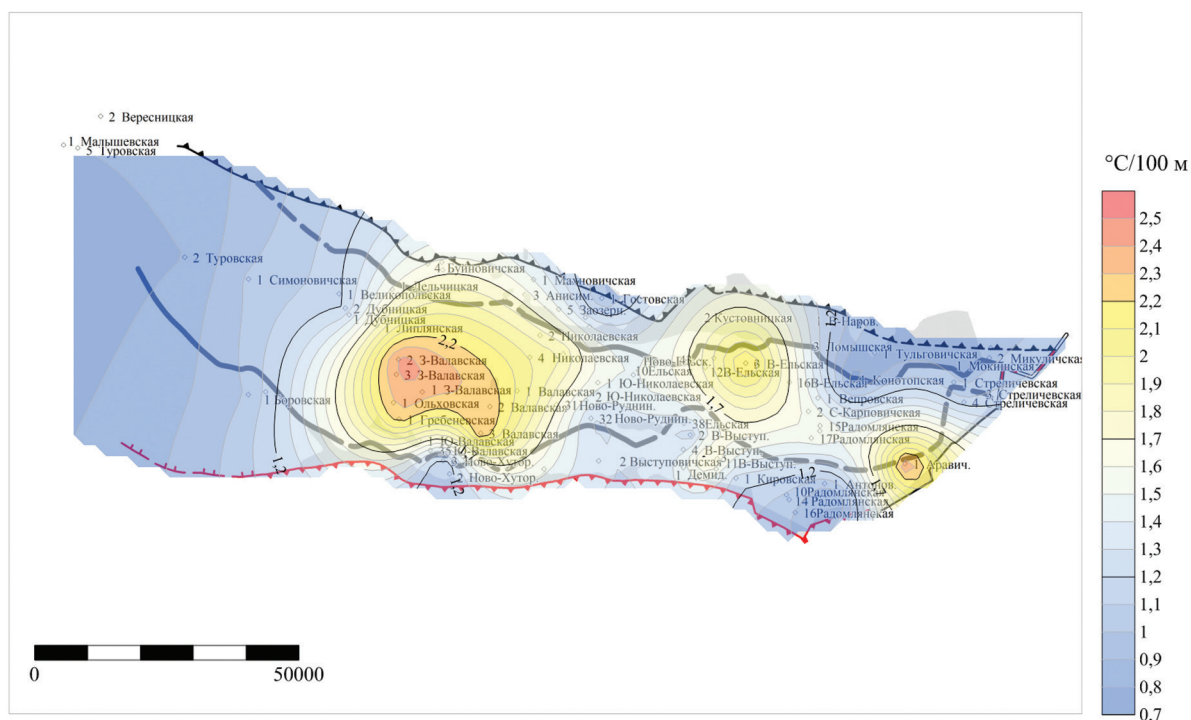


Рисунок 3 – Карта-схема районирования межсоловых отложений ЮСТЗ по геотермическому градиенту

Структура геотермического поля верхнесоленосных отложений ЮСТЗ характеризуется геотермическими градиентами, не превышающими 1,6 °C/100 м. Выделено 4 типа геотермического разреза верхнесоленосных отложений. В запад-

ной и восточной частях температурный градиент не превышает 0,85 °C/100 м, что соответствует 1-му и 2-му типу геотермического разреза. В северной части температурный градиент в среднем составляет 1,25 °C/100 м, что соответствует 3-му геотер-

мического разреза, постепенно повышаясь к центру и югу, достигая значения $1,55\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ (4-й тип) в районе Выступовичской скв. 2 и Ельской № 28 (рис. 4). Температурное поле верхнесоленосных отложений южной зоны изменяется в диапазоне от 18 до $66\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пластовая температура верхнесоленосных отложений постепенно увеличивается от краевых зон к центральной и юго-восточной. Фоновые значения температур составляют для подошвы верхнесоленосных отложений – $35\text{--}41\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Наблюдаемое изменение геотермических градиентов по разрезу и площадям не случайно, а подчинено закономерностям распределения естественного теплового поля Земли, связанного с увеличением интенсивности глубинного теплового потока, наличием тектонических нарушений, литологическим составом пород, геологическим строением, гидрогеологическими особенностями и принадлежностью к крупным структурно-тектоническим элементам [5].

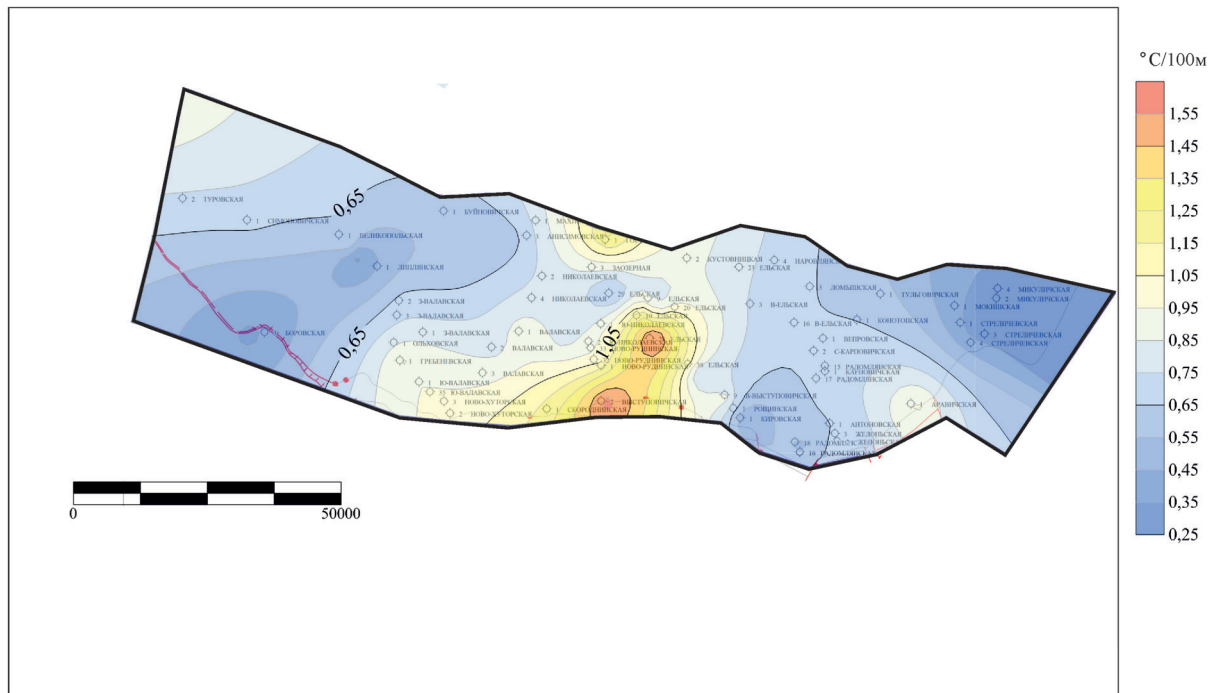


Рисунок 4 – Карта-схема районирования верхнесоленосных отложений ЮСТЗ по геотермическому градиенту

Пространственная гидрогеохимическая модель межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба. На основе установленных закономерностей дифференциации гидрохимических и термодинамических особенностей обоснована пространственная гидрогеохимическая модель межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба.

Выделены четыре однородные по химическому составу группы пластовых рассолов межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба по результатам анализа 170 представительных проб. На основе пространственной морфологии поля гидрохимически однородных групп рассолов выделены зоны, приуроченные к открытым комплексам, и зоны, приуроченные к закрытым и весьма закрытым комплексам межсолевых и верхнесоленосных отложений. Проведен анализ пластовых

давлений, ГПД межсолевых и верхнесоленосных отложений. На их основе получены статистические зависимости изменения пластовых давлений, ГПД с глубиной. Выделены anomalно высокоградиентные (градиенты пластовых давлений $> 1,5\text{ МПа}/100\text{ м}$), высокоградиентные ($1,20\text{--}1,49\text{ МПа}/100\text{ м}$), среднеградиентные ($1,00\text{--}1,19\text{ МПа}/100\text{ м}$) и низкоградиентные ($< 1,0\text{ МПа}/100\text{ м}$) зоны. Выполнен анализ геотермических данных и их интерпретация с разбивкой по стратиграфическим уровням, проанализированы точечные замеры температур, рассчитаны геотермические параметры пластов (геотермический градиент, геотермическая ступень). Выделено 4 типа разрезов межсолевых и верхнесоленосных отложений по геотермической напряженности.

Проведен комплексный статистический анализ гидрохимических и термодинамических данных в программе SP. S..S Statistics, установлена тесная взаимосвязь между группами рассолов, ГПД и пластовыми температурами. На основе установленной взаимосвязи между исследуемыми

параметрами с помощью метода интерполяции Cokriging в программном продукте Surfer построена пространственная гидрогеохимическая модель межселевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба (рис. 5, 6). Метод интерполяции «Cokriging» использует информацию о нескольких типах пере-

менных. Основной переменной является Z1 (класс однородных гидрохимических групп рассолов), для повышения точности интерполяции используется автокорреляция Z1 и взаимная корреляция между Z1 и всеми другими типами переменных (ГПД, пластовые температуры, вертикальный тип геотермического разреза).

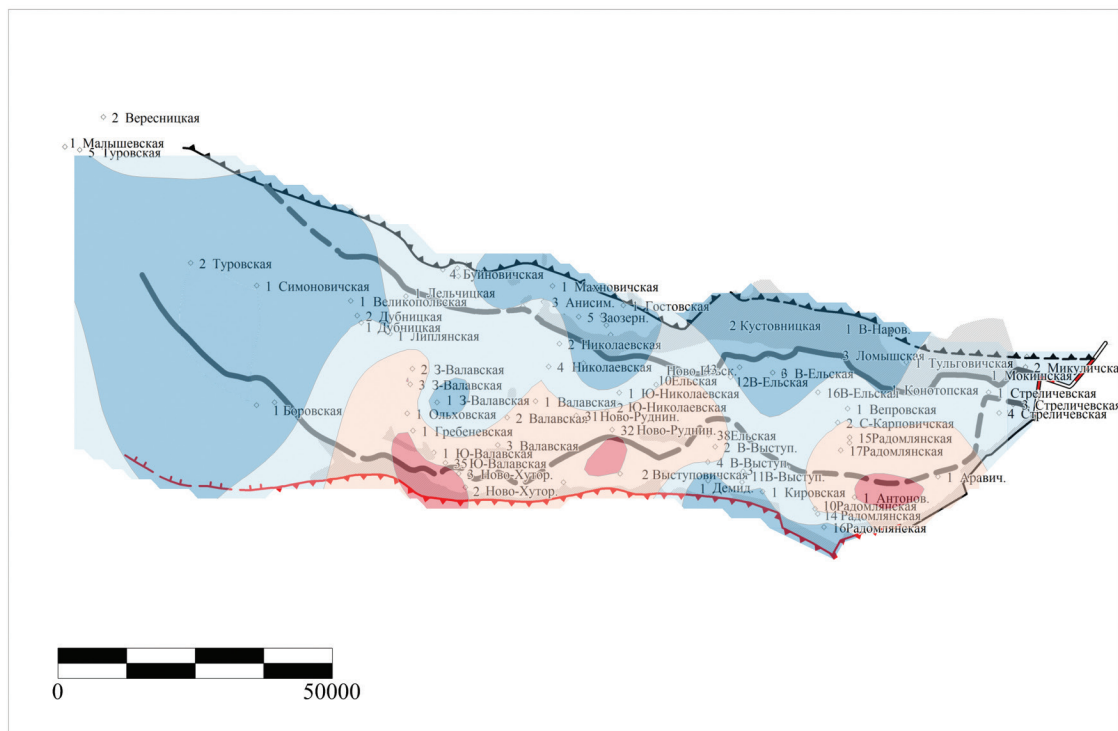


Рисунок 5 – Пространственная гидрогеохимическая модель межселевых отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба

1–4 – гидрогеохимические зоны: 1 – первая гидрохимически однородная группа рассолов, Тпл – 20–40 °С, температурный градиент 0,7–1,2 °С/100 м, ГПД 1,0–1,1 МПа/100 м; 2 – вторая гидрохимически однородная группа рассолов, Тпл – 40–50 °С, температурный градиент 1,2–1,7 °С/100 м, ГПД 1,1–1,19 МПа/100 м; 3 – третья гидрохимически однородная группа рассолов, Тпл – 50–60 °С, температурный градиент 1,7–2,2 °С/100 м, ГПД 1,2–1,29 МПа/100 м (юго-восточная часть ЮСТЗ), ГПД 1,1–1,19 МПа/100 м (центральная и южная части ЮСТЗ); 4 – четвертая гидрохимически однородная группа рассолов, Тпл – более 60 °С, температурный градиент более 2,2 °С/100 м, ГПД 1,3 и более МПа/100 м.

Выделены четыре гидрогеохимические зоны межселевых отложений Южной части Припятского прогиба (табл. 2). Первой зоне соответствуют рассолы первой гидрохимически однородной группы, ГПД 1,0–1,1 МПа/100 м, пластовые температуры 20–40 °С, температурный градиент – 0,7–1,2 °С/100 м. Этой зоне соответствуют северная и западная части изучаемого района. Второй зоне соответствуют рассолы второй гидрохимической группы, ГПД составляет 1,1–1,19 МПа/100 м, пластовые температуры 40–50 °С, температурный градиент – 1,2–1,7 °С/100 м. Третья зона характеризуется распространением рассолов третьей группы, ГПД в юго-восточной части 1,2–1,29 МПа/100 м, в центральной и южной частях ГПД 1,1–1,19 МПа/100 м, пластовыми температурами 50–60 °С, температурным градиентом

1,7–2,2 °С/100 м. Четвертая гидрогеохимическая зона характеризуется распространением рассолов четвертой группы, высокими пластовыми давлениями (ГПД 1,3 МПа/100 м и выше), пластовыми температурами более 60 °С, температурным градиентом 2,2–2,5 °С/100 м. Пространственная морфология поля 3-й и 4-й гидрогеохимических зон совпадает с зонами концентрации терригенных тел в межселевых отложениях: Западно-Валавской, Гребеневско-Южно-Валавской, Валавской, Восточно-Выступовичской и Радомлянкой.

Гидрогеохимические зоны верхнесоленосных отложений в пространственном плане во многом повторяют зоны ниже залегающих отложений. Также выделены 4 гидрогеохимические зоны верхнесоленосных отложений (табл. 3).

рассолов третьей группы, ГПД 1,3–1,49 МПа/100 м, пластовыми температурами 45–60 °С, температурным градиентом 1,05–1,45 °С/100 м. Четвертая гидрогеохимическая зона характеризуется распространением рассолов четвертой группы, аномально высокими пластовыми давлениями (ГПД 1,5 МПа/100 м и выше), пластовыми температурами более 60 °С, температурным градиентом более 1,45 °С/100 м. Пространственная морфология поля 3-й и 4-й гидрогеохимических зон совпадает с зонами концентрации терригенных тел в верхнесоленосных отложениях: Гребеневской, Западно-Валавской, Ново-Рудненской и Радомлянской.

Четвертая зона рассматривается автором как локальная аномалия гидрохимического поля межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной зоны Припятского прогиба. Характеризует отложения как весьма гидродинамически изолированные.

Пространственная гидрогеохимическая модель межсолевых и верхнесоленосных отложений позволяет рассматривать ее в качестве региональной модели палеомиграционных процессов. В региональных пластовых системах относительно высокой проводимости неизбежен процесс выравнивания химического состава рассолов, гидродинамических и геотермических параметров пласта.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗАНОСНОСТИ МЕЖСОЛЕВЫХ И ВЕРХНЕСОЛЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОЙ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

По гидрохимическому облику выделяется 3 типа рассолов девонских комплексов Припятского прогиба – седиментогенные, инфильтрогенные (выщелачивания), смешанные. Для межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба установлены четыре гидрохимически однородные группы пластовых рассолов: первой группе соответствуют рассолы инфильтрогенного генезиса с минерализацией до 270 г/л, невысоким содержанием кальция (среднее по группе – 9742,1 мг/л), высоким содержанием сульфатов (до 5000 мг/л, среднее по группе – 2461,3 мг/л), низким содержанием микрокомпонентов – йода и брома (средние содержания по группе – соответственно 4,7 и 487,6 мг/л); аммония 80 мг/л. Рассолы хлоридно-натриевого состава приурочены к раскрытым структурам. Ко второй группе отнесены рассолы смешанного генезиса, в макрокомпонентном составе которых среднее содержание кальция по группе составляет 10155,6 мг/л, магния – 2778,8 мг/л, натрия с калием – 105 366,9 мг/л, сульфатов – 1357,7 мг/л,

в микрокомпонентном – брома 614,2 мг/л, йода – 5,8 мг/л, аммония – 231,4 мг/л, средней минерализацией 309,3 мг/л. Рассолы смешанного генезиса, слабометаморфизованные, приурочены к полураскрытым структурам. Третьей группе соответствуют рассолы седиментогенного генезиса, в макрокомпонентном составе которых среднее содержание кальция по группе составляет 45 041,3 мг/л, магния – 8080,7 мг/л, натрия с калием – 63 208,8 мг/л, сульфатов – 359,2 мг/л, в микрокомпонентном – брома 2229,2 мг/л, йода – 15,1 мг/л, аммония – 241,3 мг/л. Рассолы весьма метаморфизованные, приурочены к закрытым структурам. К четвертой группе принадлежат рассолы седиментогенного генезиса, в макрокомпонентном составе которых среднее содержание кальция по группе составляет 76 640,7 мг/л, магния – 11 810,6 мг/л, натрия с калием – 41 891,6 мг/л, сульфатов – 264,9 мг/л, в микрокомпонентном – брома 4006,7 мг/л, йода – 16,1 мг/л, аммония – 251,7 мг/л. Рассолы седиментогенного генезиса, весьма метаморфизованные, приурочены к весьма закрытым структурам.

Исходя из макро- и микрокомпонентного состава пластовых рассолов, их генезиса, степени метаморфизации, коэффициента напряженности гидродинамического поля, температурных характеристик пластов, третья и четвертая гидрогеохимические зоны характеризуют условия наиболее благоприятные для сохранения залежей углеводородов. В приведенном ниже анализе оценки перспектив нефтегазоносности Южной структурной зоны рассматриваются межсолевые и верхнесоленосные отложения 3-й и 4-й зон.

Для локального прогноза используются гидрогеохимические показатели оценки перспектив нефтегазоносности Припятского прогиба, рассмотренные в работах Я. Г. Грибика, П. Г. Альтшулера, В. Г. Жоголо, А. П. Лаврова, Г. Л. Фурсикова, Л. И. Шаповал, Ж. А. Герасимовой, А. П. Марковой, В. М. Шимановича, В. Д. Порошина и других ученых [1–4; 8; 9; 12; 14]. Благодаря проведенным исследованиям, разработан наиболее информативный комплекс критериев оценки перспектив нефтеносности локальных структур Припятского прогиба:

- 1) высокая степень гидрогеологической закрытости (показатель закрытости менее 0,1);
- 2) аномальное недонасыщение пластовых рассолов сульфатами на фоне натурального сульфатного поля (содержание сульфатов в пластовых рассолах меньше 300 мг/л);
- 3) содержание аммония в пластовых рассолах больше 200 мг/л;
- 4) углеводородный состав рассолорастворенного газа (содержание тяжелых углеводородов свыше 3 %);

5) содержание в составе рассолорастворенного органического вещества углерода органического больше 3 мг/л, азота органического общего – больше 0,2 мг/л, фенолов нелетучих – больше 0,5 мг/л [1];

6) обогащение подземных рассолов радием выше фона (больше 3×10^{-10} г/л), низкие концентрации урана в рассолах (меньше $2-3 \times 10^{-7}$ г/л) [2; 8].

Локальные гидрогеохимические показатели оценки перспектив нефтегазоносности и фоновые концентрации некоторых компонентов, используемые в данном анализе. Отдельные показатели в поисковом отношении не равноценны, но в совокупности определяют общую нефтепоисковую зональность пластовых рассолов. Существующее множество показателей может привести к неопределенности выводов. Также необходимо учитывать, что гидрогеохимические показатели, даже наиболее информативные, имеют свои фоновые значения

в северной, центральной и южной зонах Припятского прогиба. Следовательно, на локальном уровне прогноза необходимо обосновать оптимальный комплекс критериев и их фоновые значения. Так, для Южной структурно-тектонической зоны в качестве такого комплекса предложены: группа гидрогеохимических показателей (концентрации SO_4 , Ca, NH_4 , J, Br, Ra, коэффициенты HCO_3/SO_4 , $r\text{Na}/r\text{Br} \times \text{H}$, Na/Cl , Cl/Br), группа рассолорастворенных газов (концентрация метана, сумма ТУ, азота). Установлены фоновые концентрации натурального гидрохимического поля водоносных комплексов. Применение методов математической статистики позволило выявить эталонные выборки и граничные значения по предложенному комплексу гидрогеологических критериев для межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба (табл. 4).

Таблица 4 – Комплекс оптимальных гидрогеохимических критериев оценки перспектив нефтегазоносности межсолевых и верхнесоленосных отложений ЮСТЗ

Группа показателей			Балл	Комплекс отложений		Прогноз притока	
						Вода	Нефть
Гидрогеохимические	Прямые	NH_4 , мг/л	0,8	Верхнесоленосные		< 330	≥ 330
				Межсолевые	Карбонатные	< 150	≥ 150
					Терригенные	< 210	≥ 210
Рассолорастворенный газ		CH_4 , %	1	Верхнесоленосные и межсолевые		< 45	≥ 45
		Сумма ТУ, %	1	Верхнесоленосные и межсолевые		< 3,0	≥ 3,0
Гидрогеохимические	Косвенные	Ra, г/л	0,1	Верхнесоленосные	$\leq 3 \times 10^{-10}$	$> 3 \times 10^{-10}$	
				Межсолевые	$\leq 4,5 \times 10^{-10}$	$> 4,5 \times 10^{-10}$	
		Ca, г/л	0,1	Верхнесоленосные	< 34	≥ 34	
				Межсолевые	< 30	≥ 30	
		SO_4 , мг/л	0,1	Верхнесоленосные	≥ 340	< 340	
				Межсолевые	≥ 260	< 260	
		HCO_3/SO_4 , ед.	0,3	Верхнесоленосные и межсолевые	≤ 1	> 1	
Рассолорастворенный газ		N_2 , %	0,2	Верхнесоленосные и межсолевые	≥ 30	< 30	
Коррелятивные коэффициенты		$r\text{Na}/r\text{Br} \times \text{H}$	0,2	Верхнесоленосные и межсолевые	≥ 0,1	< 0,1	
		$r\text{Na}/r\text{Cl}$	0,2	Верхнесоленосные и межсолевые	≥ 0,7	< 0,7	
		Cl/Br	0,2	Верхнесоленосные и межсолевые	≥ 250	< 250	

Аммоний. А. В. Кудельский установил, что важнейшим фактором, наряду с нефтегазоносностью, контролирующим распределение аммония в пластовых рассолах, выступает литологический состав пород, наибольшие экстремальные и средние концентрации иона связаны с рассолами карбонатных отложений, рассолам терригенных пород свойственны концентрации в 2–2,5 раза меньше [12]. Л. И. Шаповал указывала, что рассолы обогащаются аммонием за счет разложения азотсодержащей органики вмещающих пород и в процессе ионного обмена между аммонием обменного комплекса глинистых минералов и калием рассолов, с которыми термогидродинамические свойства наиболее близки [3]. В рассолах межсолевого и подсолевого карбонатного комплексов Припятского прогиба отмечается тесная корреляционная взаимосвязь между калием и аммонием, более высокие содержания аммония в рассолах межсолевого комплекса объясняются повышенными содержаниями (2,1 %) по сравнению с подсолевыми карбонатными (0,9 %) органического вещества в породе.

При установлении фоновых концентраций натурального гидрохимического поля межсолевых и верхнесоленосных отложений юга Припятского прогиба были рассчитаны фоновые концентрации аммония в пластовых рассолах межсолевых отложений, литологически представленных терригенными и карбонатными породами, с учетом содержания калия в пластовых водах и содержания органического углерода в породах. Для межсолевых и верхнесоленосных отложений установлена тесная корреляционная линейная зависимость содержания аммония от калия в пластовых рассолах и содержания органического углерода в породах. Рассеянное органическое вещество вмещающих пород и калий в рассолах определяют фоновые значения содержания аммония в пластовых рассолах.

Практическое определение фоновых концентраций аммония в пластовых рассолах межсоле-

вого и верхнесоленосного комплексов Южной структурно-тектонической зоны рассчитывалось как доверительный интервал для среднего геометрического содержания аммония в рассолах. За фоновое значение принята верхняя граница доверительного интервала. Для отложений межсолевого комплекса, водовмещающие породы которого представлены терригенными разностями, фоновый интервал содержания аммония в пластовых рассолах составляет 150–210 мг/л, значения более 210 мг/л являются вышефоновыми. Для межсолевых отложений, литологически представленных карбонатными породами, фоновый интервал содержания аммония в пластовых рассолах составляет 90–150 мг/л, среднее содержание органического углерода в породах составляет 0,8 %, содержание калия в пластовых рассолах – 1,6 г/л, что сравнительно ниже средних значений содержания органического углерода в породах ($C_{орг} = 1,3 \%$) и калия в пластовых рассолах ($K = 3,1 \text{ г/л}$) межсолевых терригенных отложений. Для верхнесоленосных отложений фоновый интервал содержания аммония в пластовых рассолах несколько выше, чем для межсолевых, и составляет 200–330 мг/л, т. к. главным источником поступления калия в подземные рассолы верхнесоленосных отложений являлись маточные растворы галитовой стадии галогенеза и их твердая фаза – соли, в разной степени обогащенные калием, калий вступает в обменные реакции с аммонием обменного комплекса глинистых минералов, с которыми термогидродинамические свойства аммония наиболее близки (рис. 7).

Вышефоновые, более 210 мг/л, содержания аммония в пластовых рассолах межсолевых терригенных отложений и более 150 мг/л для межсолевых карбонатных отложений, более 330 мг/л для верхнесоленосных отложений рекомендуется использовать в качестве одного из критериев нефтегазоносности локальных структур Южной структурно-тектонической зоны.

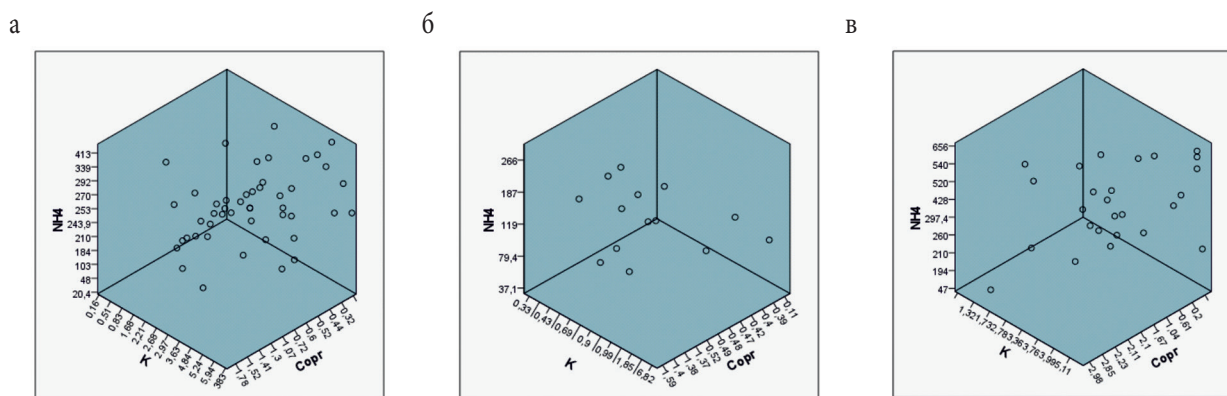


Рисунок 7 – Трехмерная диаграмма рассеяния NH_4 мг/л, K г/л в пластовых рассолах и $C_{орг}$, % в породах: а – межсолевых терригенных отложений; б – межсолевых карбонатных отложений; в – верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны

Сульфаты. Содержание сульфатов в пластовых рассолах, не связанных с залежами углеводородов, определяется равновесием по отношению к ангидриту, т. е. соответствует расчетному пределу растворимости сульфата кальция. Пластовые рассолы нефтяных месторождений содержат сульфаты в значительно меньших количествах, чем фоновые, за счет восстановления сульфатной серы в сульфидную (сульфатредукция). Поэтому вблизи залежей рассолы резко недонасыщены сульфатами.

Установлен фоновый интервал содержания сульфатов в рассолах межсолевых отложений Южной структурно-тектонической зоны – 260–440 мг/л, в рассолах верхнесоленосных отложений – 340–560 мг/л. Фоновые значения натурального сульфатного поля приняты как нижний предел доверительного интервала для среднего геометрического содержания сульфатов в рассолах. Концентрация сульфатов меньше показателей натурального сульфатного рекомендуется в качестве гидрогеохимического показателя нефтеносности локальных структур Южной структурно-тектонической зоны.

Рассолорастворенные газы относятся к одним из самых надежных гидрогеохимических показателей нефтеносности, т. к. взаимосвязь углеводородов с пластовыми рассолами на контакте приводит к обогащению последних растворенными газами. Необходимо также учитывать, что газ из залежей может мигрировать по тектоническим нарушениям в вышележащие горизонты и указывать на их наличие в нижней части разреза. Рассолорастворенные газы имеют азотный, азотно-углеводородный и углеводородный составы. Газы азотного состава распространены на пустых структурах и вдали от нефтегазовых залежей, а углеводороды присутствуют в небольших количествах или вовсе отсутствуют. При приближении к зоне водонефтяного контакта (ВНК) в рассолорастворенных газах увеличивается количество углеводородов, азотно-углеводородный газ – признак активного взаимодействия законтурных вод с залежью углеводородов (свидетельствует о близости ВНК или о зоне ВНК). Также приближение к ВНК сопровождается ростом тяжелых углеводородов в составе газов [1].

Основной объем информации по рассолорастворенным газам Припятского прогиба приходится на пробы, отобранные в устье скважины, имеет место искажение состава газа за счет естественного разгазирования рассола при движении к устью скважины, разбавления воздухом при промывке, откачке и др. [11]. Поэтому исходные данные по составу рассолорастворенных газов были пересчитаны на безвоздушную пробу, также ис-

ключался воздушный азот. Всего проанализированы 33 пробы состава рассолорастворенных газов. Рассчитан фоновый интервал содержания тяжелых углеводородов в рассолорастворенных газах межсолевых и верхнесоленосных отложений и составляет от 2 до 3 об. %. Содержание тяжелых углеводородов более 3 об. % в рассолах межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны рекомендуется использовать в качестве положительного гидрогеологического показателя нефтеносности структуры. Фоновый интервал содержания метана в водорастворенных газах межсолевых и верхнесоленосных отложений составляет 23–45 об. %.

Газы углеводородного состава распространены только вблизи залежей. По данным А. П. Лаврова, приконтурные воды характеризуются значениями коэффициента метанизации $\text{CH}_4/\Sigma\text{TU}$ от 6 до 18 на расстоянии от ВНК 0–1800 м с тенденцией уменьшения коэффициента метанизации при приближении к ВНК. При значительном удалении от ВНК на расстояние более 2000 м коэффициент $\text{CH}_4/\Sigma\text{TU}$ увеличивается до 24 и более. Горизонтальный ореол рассеяния углеводородов вокруг залежи по коэффициенту метанизации равен 1500–1800 м. Зависимость между $\text{CH}_4/\Sigma\text{TU}$ и расстоянием до ВНК установлена только для рассолорастворенного газа углеводородного состава [4].

Концентрация радия в пластовых рассолах нефтяных структур Припятского прогиба значительно выше по сравнению с непродуктивными структурами. Г. В. Богомолов и Я. Г. Грибик в [2; 8] обосновали содержание радия в пластовых рассолах выше фоновых концентраций как один из критериев нефтеносности локальных структур Припятского прогиба и установили зависимость содержания радия от расстояния до залежи с целью использования этой зависимости в нефтепоисковых целях. Формула, описывающая изменения концентрации радия от расстояния до залежи, имеет вид:

$$\lg R_a = 3,11 - 0,00034L,$$

где R_a – концентрация радия в пластовых рассолах в условных единицах (1 усл. ед. = 10–12 г/л);

L – горизонтальное расстояние до залежи в м.

Для Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба фоновые концентрации радия в рассолах межсолевых и верхнесоленосных отложений изменяются в интервале $(1,50-3,0) \times 10^{-10}$ г/л и $(1,8-4,5) \times 10^{-10}$ г/л соответственно. Фактические значения содержания радия в пластовых рассолах Южной структурно-тектонической зоны и расстояние до предполагаемых нефтяных залежей, по данным Я. Г. Грибика, приведены в таблице 5 [7].

Таблица 5 – Концентрация радия в пластовых рассолах межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны и расстояние до прогнозируемых залежей нефти

Площадь	№ скв.	Интервал испытания, м	Горизонт	Концентрация Ra, усл. ед.	Расстояние до прогнозируемой залежи, км
Ю-Николаевская	2	3710–3720	D ₃ zl	1140	0,2
В-Выступовичская	11	2061–2087	D ₃ lb(brh)	2160	Менее 0,1
З-Валавская	3	3483–3529	D ₃ zd(trm-ton)	194	2,7
В-Выступовичская	3	2730–2782	D ₃ zd(vsh-trm)	760	0,7
В-Ельская	3	1905–1995	D ₃ ptr-el(dr)	2160	Менее 0,1
Ельская	26	2206–2222	D ₃ el(dr)	1240	Менее 0,1
Н-Рудненская	32	3936–4020	D ₃ ptr	832	0,6
Выступовичская	2	3077–3095	D ₃ el(dr)	840	0,4
Выступовичская	2	3240–3289	D ₃ el(tr)	969	0,4
Желоньская	1	2579–2673		1300	Менее 0,1

Оценка перспектив нефтегазоносности локальных объектов по гидрогеохимическим данным. Анализ нефтегазоносности разреза межсолевых и верхнесоленосных отложений Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба выполнен на основе представленных гидрогеохимических моделей (см. рис. 5, 6) и локальных гидрогеохимических критериев: концентраций SO₄, Ca, NH₄, J, Br, Ra в пластовых рассолах, коэффициенты HCO₃/SO₄, rNa/rBr×H, Na/Cl, Cl/Br, группы рассолорастворенных газов (концентрация метана, сумма ТУ, азота) (см. табл. 4). Расстояния до возможных залежей рассчитаны по содержанию радия в пластовых рассолах, коэффициенту метанизации (для рассолорастворенного газа углеводородного состава), контрастности аномалии содержания аммония в пластовых рассолах. Наибольшая вероятность нефтеносности межсолевого и верхнесоленосного комплексов соответствует 3-й и 4-й гидрогеохимическим зонам. По локальным гидрогеохимическим критериям наибольший интерес представляют *задонские отложения* Восточно-Выступовичской (вишанские слои) в районе скв. № 6, Желоньской в районе скв. № 1 (тремлянские слои), Западно-Валавской в районе скв. № 3 (кузьмические слои), Гребеневской (тонезские слои) в районе скв. № 1 и Радомлянкой (вишанские слои) в районе скв. № 15 площадей; *елецкие отложения* Восточно-Выступовичской (скв. № 2, № 8), Выступовичской (дроздовские слои) в районе скв. № 2, Ельской (дроздовские слои), Ново-Рудненской (дроздовские слои) в районе скв. № 32, Радомлянкой (туровские слои) в районе скв. № 15 площадей; *петриковские отложения* Ново-Рудненской в районе скв. № 32, Радомлянкой в районе скв. № 18; Южно-Валавской в районе скв. № 1 площадей; *верхнесоленосные отложения* Западно-Валавской в районе скв. № 1, Южно-Валавской в районе скв. № 1, Николаевской в районе скв. № 4, Южно-Николаевской в районе скв. № 2, Ельской в районе скв. № 30, Ломышской и Ново-Рудненской площадей.

В интервале 3041,0–3059,0 м (el(dr)) в скв. № 2 Выступовичской отобранный газ характеризуется азотно-углеводородным составом, содержание метана 16,6 об. %, этана – 3,5 об. %, пропана – 0,2 об. %, ΣТУ – 3,7 об. %, азота неорганического – 75,1 об. %. Отношение метана к этану составляет 4,8; контрастность аномалии ΔNH₄ – 65 %; ΔSO₄ – минус 76 %. Концентрация Ra в интервале 3077–3095 м (el(dr)) составляет 840 усл. ед., расстояние до контура нефтеносности составляет 0,4 км. По указанным локальным показателям, учитывая значительную контрастность аномалии, хорошую гидрогеологическую закрытость разреза, а также оставшуюся неописанной значительную по разрезу к югу от скважины № 2 Выступовичской площади, последнюю стоит рассматривать как перспективную для поисков нефти.

Состав рассолорастворенного газа Ельской площади азотного состава, с фоновыми концентрациями в составе углеводородов. Только в скв. № 26 Ельской из дроздовских отложений (2206–2222 м) рассолорастворенный газ представлен азотно-углеводородным составом: содержание метана – 73,18 об. %, этана – 2,72 об. %, пропана – 0,31 об. %, ΣТУ – 3,29 об. %, азота неорганического – 23,54 об. %. Отношение метана к этану составляет 26,9. Концентрация Ra составляет 1240 усл. ед., расстояние до контура нефтеносности составляет менее 0,1 км. Скважина находится в контуре межсолевой залежи Ново-Ельского месторождения нефти.

На Николаевской и Западно-Валавской площадях состав рассолорастворенного газа углеводородный, состав аналогичен составу попутных газов нефтяных месторождений.

Рассолорастворенный газ, полученный из интервала 3085–3103 м (верхнесоленосные отложения) скв. № 1 Западно-Валавской, характеризуется углеводородным составом, содержание метана – 82,64 об. %, этана – 5,21 об. %, пропана – 3,56 об. %, ΣТУ – 11,53 об. %, азота неорганического – 5,6 об. %.

Отношение метана к этану составляет 15,9; коэффициент метанизации равен 7,2. Контрастность аномалии ΔNH_4 – 85 %; ΔSO_4 – минус 50 %. Предполагаемое расстояние до контура нефтеносности составляет менее 1 км. В скв. № 1 Западно-Валавской отмечены в петриковских отложениях запах бензина, в елецких отложениях (туровские слои) – выпоты темно-коричневой нефти, возможно, следы миграции нефти из нефтематеринских пород межсолевых отложений в ловушку верхнесоленосных отложений. В скв. № 3 Западно-Валавской из интервала 3483–3529 м D3zd(trm-ton) рассолорастворенный газ представлен азотно-углеводородным составом: содержание метана – 58,32 об. %, этана – 1,23 об. %, пропана – 0,15 об. %, ΣTU – 1,41 об. %, азота неорганического – 33,9 об. %. Отношение метана к этану составляет 47,5.

В скв. № 2 Южно-Николаевской из интервала 3710–3720 м (верхнесоленосные отложения) рассолорастворенный газ представлен углеводородным составом: содержание метана – 80,61 об. %, этана – 4,08 об. %, пропана – 0,52 об. %, ΣTU – 4,66 об. %, азота неорганического – 9,26 об. %. Отношение метана к этану составляет 2,44; коэффициент метанизации равен 17,3. В скв. № 4 Николаевской из верхнесоленосных отложений из интервала глубин 2085–2090 м рассолорастворенный газ представлен углеводородным составом. Содержание метана – 67,88 об. %, этана – 20,25 об. %, пропана – 0,14 об. %, ΣTU – 20,54 об. %, азота неорганического – 11,58 об. %. Отношение метана к этану составляет 3,4; коэффициент метанизации равен 3,3, что соответствует попутным газам нефтяных месторождений. Содержание Ra – 1140 усл. ед., расстояние до контура нефтеносности составляет менее 0,1 км, что подтверждается и коэффициентом метанизации, и контрастностью аномалии содержания аммония в пластовых рассолах.

Нефтепроявления в межсолевых отложениях в виде выпотов темно-коричневой вязкой нефти отмечены в скважинах № 1, № 2 Николаевских, включения битума – в скважинах № 2, № 3, выпоты жидкой светло-коричневой нефти по микропорам и разгазирование глинистого раствора в процессе опробования наблюдались в скв. № 3 Николаевской. Пластовые рассолы внутрисолевых отложений скв. № 4 Николаевской представлены крепкими рассолами хлоридно-натриевого состава с минерализацией 325 г/л. Рассолы характеризуются своеобразным химическим составом. Наряду с очень высоким, вышефоновым содержанием аммония – 2906 мг/л и йода – 55 мг/л, отмечается вышефоновая концентрация сульфатов – 1043 мг/л. Следует отметить, что такой химический состав исследуемых рассолов идентичен только за контурным рассолам Ельских скважин № 17 и № 18.

Рассолорастворенный газ, полученный из интервала 3712–3723 м (верхнесоленосные отложения) Южно-Валавской скв. № 1, характеризуется азотно-углеводородным составом, содержание метана – 74,84 об. %, этана – 3,56 об. %, пропана – 0,76 об. %, ΣTU – 4,4 об. %, азота неорганического – 19,22 об. %. Отношение метана к этану составляет 21,0.

В скв. № 18 Радомлянской из интервала 1908–1912 м (ptr) рассолорастворенный газ представлен азотно-углеводородным составом: содержание метана – 22,08 об. %, этана – 13,48 об. %, пропана – 7,71 об. %, ΣTU – 32,99 об. %, азота неорганического – 44,69 об. %. Отношение метана к этану составляет 1,63, что соответствует попутным газам нефтяных месторождений.

Рассолорастворенные газы петриковских отложений из интервала глубин 3936–4020 м в скв. № 32 Ново-Рудненской характеризуются азотно-углеводородным составом. Содержание метана – 69,92 об. %, этана – 3,85 об. %, ΣTU – 3,94 об. %, азота неорганического – 20,4 об. %. По своему составу является аналогом попутного газа елецкой залежи Октябрьского нефтяного месторождения. В микрокомпонентном составе рассола отмечается вышефоновое содержание аммония, контрастность аномалии ΔNH_4 – 50 %; ΔSO_4 – минус 70 %. По контрастности аномалии аммония расстояние до контура нефтеносности прогнозируемой залежи составляет менее 1 км.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ нефтегазоносности разреза выполнен на основе представленных гидрогеохимических моделей. Наибольшая вероятность нефтеносности межсолевого и верхнесоленосного комплексов соответствует 3-й и 4-й гидрогеохимическим зонам. Для межсолевых отложений это зоны развития пластовых рассолов третьей и четвертой однородных гидрохимических групп, пластовая температура – 50 °C и более, температурный градиент – 1,7 °C/100 м и более, ГПД – 1,1 МПа/100 м и выше. Для верхнесоленосных отложений это зоны развития пластовых рассолов третьей и четвертой однородных гидрохимических групп, пластовая температура – 45 °C и более, температурный градиент – 1,05 °C/100 м и более, ГПД – 1,3 МПа/100 м и выше.

2. Гидрогеохимические зоны «3» и «4» пространственно совпадают с зонами концентрации терригенных тел в межсолевых отложениях: Западно-Валавской, Гребеневско-Южно-Валавской, Валавской, Восточно-Выступовичской и Радомлянской. Зоны «3» и «4» связаны с Гребеневской, Западно-Валавской, Ново-Рудненской и Радомлянской

зонами концентрации терригенных тел в верхнесоленосных отложениях.

3. Межсолевые отложения Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба характеризуются несколько пониженной напряженностью гидродинамического поля по сравнению с Северной структурной зоной, градиент пластового давления свыше 1,5 МПа/100 м не отмечен, ГПД 1,20–1,49 МПа/100 м составляет 5 % от общего количества значений ГПД, доминируют градиенты пластовых давлений 1,00–1,19 МПа/100 м (89 % от общего количества значений ГПД), низкоградиентных – 6 %. Гидродинамическое поле верхнесоленосных отложений характеризуется преобладанием высоких и аномально высоких пластовых давлений. Аномальная высокоградиентная зона установлена в центральной части ЮСТЗ (ГПД выше 1,5 МПа/100 м – 14 % от общего количества значений ГПД верхнесоленосных отложений). Высокоградиентная зона имеет масштабное распространение, захватывая практически всю площадь ЮСТЗ. Среднеградиентная зона установлена в западной части и крайней южной части ЮСТЗ.

4. Структура геотермического поля межсолевых и верхнесоленосных отложений неоднородна. Выделено 4 типа геотермического разреза. Структура геотермического поля межсолевых отложений ЮСТЗ характеризуется геотермическими градиентами, не превышающими 2,5 °C/100 м. Выделяются локальные геотермические аномалии на 3-Валавской, Ольховской, В-Ельской, Желоньской площадях. Фоновые значения пластовых температур составляют для кровли межсолевых отложений 36–45 °C, для подошвы – 43–53 °C. Структура геотермического поля верхнесоленосных отложений ЮСТЗ характеризуется геотермическими градиентами, не превышающими 1,6 °C/100 м. Выделяются локальные геотермические аномалии на Выступовичской площади и в районе скв. 28 Ельской.

5. Для задонских отложений наиболее характерны пластовые рассолы третьей и четвертой гидрохимических групп, которые приурочены к Валавско-Николаевской зоне локальных поднятий, Гребеневской субрегиональной зоне локальных поднятий, к Южно-Припятскому сбросо-блоковому уступу; для елецко-петриковских отложений также характерны рассолы третьей и четвертой групп для Валавско-Николаевской зоны локальных поднятий, Гребеневской субрегиональной зоны локальных поднятий, Южно-Припятского сбросо-блокового уступа, но по площади они менее распространены. Пластовые рассолы первой и второй групп образуют обширные поля на западе Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба и Северо-Буйновичско-Наровлянской зоне

локальных поднятий; для верхнесоленосных отложений характерны рассолы второй и третьей групп.

6. Большая часть однородных гидрохимических групп рассолов прослеживается в виде пространственных гидрогеохимических полей, локальные проявления той или иной гидрохимической группы связаны с локальными зонами высокой гидродинамической изолированности отложений.

7. Для западной части Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба характерны рассолы первой и второй групп для всех горизонтов межсолевого комплекса.

8. По результатам исследования выявлен оптимальный комплекс гидрогеохимических критериев для локального прогноза перспектив нефтеносности Южной структурно-тектонической зоны, к которым относятся концентрации SO_4 , Ca, NH_4 , J, Br, Ra в пластовых рассолах, коэффициенты HCO_3/SO_4 , $\text{rNa/rBr} \times \text{H}$, Na/Cl , Cl/Br , группа рассолорастворенных газов (концентрация метана, сумма ТУ, азота).

9. Для межсолевого комплекса, водовмещающие породы которого представлены терригенными разностями, фоновый интервал содержания аммония в пластовых рассолах составляет 150–210 мг/л, для межсолевых отложений, литологически представленных карбонатными породами, этот показатель изменяется в пределах 90–150 мг/л, для пластовых рассолов верхнесоленосных отложений фоновый интервал содержания аммония несколько выше, чем для межсолевых, и составляет 200–330 мг/л. Выше-фоновые, более 210 мг/л содержания аммония в пластовых рассолах межсолевых терригенных отложений и более 150 мг/л для межсолевых карбонатных отложений, а также выше 330 мг/л для верхнесоленосных отложений, рекомендуется использовать в качестве критериев нефтегазоносности локальных структур Южной структурно-тектонической зоны.

10. Фоновое значение содержания сульфатов в рассолах межсолевых отложений Южной структурно-тектонической зоны составляет 260 мг/л, в рассолах верхнесоленосных отложений – 340 мг/л. Концентрацию сульфатов меньше показателей натурального сульфатного поля рекомендуется рассматривать в качестве гидрохимического показателя нефтеносности локальных структур Южной структурно-тектонической зоны.

11. Наибольшая вероятность нефтеносности межсолевого и верхнесоленосного комплексов соответствует третьей и четвертой гидрогеохимическим зонам. По локальным гидрогеохимическим критериям наибольший интерес представляют задонские отложения Восточно-Выступовичской, Желоньской, Западно-Валавской, Гребеневской и Радомлянской площадей, елецкие отложения Восточно-Выступовичской, Выступовичской, Ель-

ской, Ново-Рудненской, Радомлянской площадей, петриковские отложения Ново-Рудненской, Радомлянской и Южно-Валавской площадей, верхнесо-
леносные отложения Западно-Валавской, Южно-Валавской, Николаевской, Южно-Николаевской, Ельской, Ломышской и Ново-Рудненской площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Альтшулер, П. Г.** Геохимия подземных вод Припятского нефтегазоносного бассейна : автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: 04.00.06 / П. Г. Альтшулер ; БелНИГР И. – Минск, 1974. – 19 с.
2. **Богомолов, Г. В.** Радиоактивность подземных вод как поисковый критерий нефтегазоносности: (на примере Припятского прогиба) / Г. В. Богомолов, Я. Г. Грибик. – Минск : Наука и техника, 1982. – 148 с.
3. **Геология** и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы : к 70-летию Белорусского научно-исследовательского геологоразведочного института / З. Л. Познякевич [и др.]. – Минск : Белорусская наука, 1997. – С. 297–304.
4. **Гидрогеологический** прогноз перспектив нефтегазоносности девонских комплексов Припятского прогиба / А. П. Лавров [и др.]. – Минск : БелНИИТИ Госплана БССР, 1988. – 52 с.
5. **Гидродинамика** и геотермия нефтяных структур / Г. В. Богомолов [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1975. – 236 с.
6. **Грибик, Я. Г.** Динамика пластовых давлений в девонских нефтеносных комплексах северной части Припятского прогиба, находящихся в зоне влияния разрабатываемых залежей нефти / Я. Г. Грибик // Літасфера. – 2019. – № 50. – С. 42–61.
7. **Грибик, Я. Г.** Новые прогнозируемые месторождения нефти в Припятском прогибе / Я. Г. Грибик // Инновационное развитие геологической науки – путь к эффективному и комплексному освоению ресурсов недр : материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–21 дек. 2007 г. / БелНИГРИ ; редкол.: Э. А. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2007. – С. 84–88.
8. **Грибик, Я. Г.** Радиоактивность подземных вод Припятского прогиба в связи с нефтеносностью: автореф. дис. канд. геол.-мин. наук : 04.00.06 / Я. Г. Грибик ; ВНИГРИ. – Ленинград, 1980. – 24 с.
9. **Жогло, В. Г.** Подземные воды Припятской впадины в связи с нефтегазоносностью : автореф. дис. канд. геол.-мин. наук: 04.00.06 / В. Г. Жогло; ВНИГИ. – Л., 1979. – 22 с.
10. **Кондратенко, Н. И.** Оценка достоверности гидрохимических данных при испытании и освоении перспективных горизонтов Припятского нефтегазоносного бассейна / Н. И. Кондратенко, Я. Г. Грибик // Літасфера. – 2022. – № 1. – С. 148–159.
11. **Кудельский, А. В.** Газовый режим Припятского прогиба / А. В. Кудельский, В. М. Бурак. – Минск : Наука и техника, 1982. – С. 37–64.
12. **Кудельский, А. В.** Гидрогеология и рассолы Припятского нефтегазоносного бассейна / А. В. Кудельский, В. М. Шиманович, А. А. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1985. – С. 177–179.
13. **Кудрицкий, А. П.** О возможных причинах аномальных пластовых давлений в нефтеносных комплексах Речицко-Вишанской зоны / А. П. Кудрицкий // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 194–200.
14. **Порошин, В. Д.** Ионно-солевой состав вод эвапоритсодержащих осадочных бассейнов в связи с поисками, разведкой и разработкой нефтяных и газовых месторождений : автореф. дис. докт. геол.-мин. наук : 04.00.17 / В. Д. Порошин ; ГАНГ. – М., 1997. – 44 с.
15. **IBM SP. S.S 20 Statistics и AMOS:** профессиональный статистический анализ данных / А. Д. Наследов [и др.]. – СПб. : Питер Пресс, 2013. – 413 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 13.09.2023

Рэцэнзент Я. Г. Грыбiк

ГІДРАГЕАХІМІЧНАЕ РАЯНІРАВАННЕ І АЦЭНКА ПЕРСПЕКТЫЎ НАФТАГАЗАНОСНАСЦІ МІЖСАЛЯВЫХ І ВЕРХНЕСАЛЯНОСНЫХ АДКЛАДАЎ ПАЎДНЁВАЙ СТРУКТУРНА-ТЭКТАНІЧНАЙ ЗОНЫ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ

Н. І. Кандраценка

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
вул. Грынінская, 1, 246000, Гомель, Беларусь
E-mail: nvkondratenko@mail.ru

У артыкуле прыводзіцца аналіз гідрахімічных і тэрмагідрадынамічных дадзеных міжсалявых і верхнесаляных адкладаў Паўднёвай структурна-тэктанічнай зоны (ПСТЗ) Прыпяцкага прагіну. На падставе

ўсталяванай узаемасувязі паміж гідрахімічна аднастайнымі групамі пластовых расолаў, градыентамі пластовых ціскаў (ГПЦ), пластавымі тэмпературамі пабудавана прасторавая гідрагеахімічная мадэль міжсалавых і верхнесалавых адкладаў ПСТЗ. Прапанаваны аптымальны комплекс лакальных гідрагеахімічных крытэрыяў ацэнкі перспектывы нафтагазаноснасці міжсалавых і верхнесалавых адкладаў ПСТЗ, абгрунтаваны фонавыя канцэнтрацыі макра- і мікракампанентаў натуральнага гідрахімічнага поля. Выкананы аналіз перспектывы нафтагазаноснасці разрэзу.

Вынікі даследавання рэкамендуюцца пры ацэнцы перспектывы нафтагазаноснасці фаменскіх адкладаў ПСТЗ Прыпяцкага прагіну і аператыўнай ацэнцы вынікаў апрабавання пошукава-разведаных свідравін.

Ключавыя словы: пластовы расол, пластовы ціск, градыент пластовага ціску, пластовая тэмпература, геатэрмічны градыент, геатэрмічная ступень, гідрагеахімічная мадэль.

HYDROGEOCHEMICAL ZONING AND ASSESSMENT OF OIL AND GAS POTENTIAL OF INTER-SALT AND UPPER-SALT SEDIMENTS OF THE SOUTHERN STRUCTURAL-TECTONIC ZONE OF THE PRIPYAT TROUGH

N. Kondratenko

State Enterprise "SPC on Geology"
1 Irininskaya St, 246000, Gomel, Belarus
E-mail: nvkondratenko@mail.ru

The article provides an analysis of hydrochemical and thermohydrodynamic data of inter-salt and upper-salt sediments of the Southern structural-tectonic zone (SSTZ) of the Pripyat trough. Based on the established relationship between hydrochemically homogeneous groups of reservoir brines, reservoir pressure gradients (RPG), and reservoir temperatures, a spatial hydrogeochemical model of inter-salt and upper salt-bearing sediments was constructed. An optimal set of local hydrogeochemical criteria for assessing the prospects of oil and gas potential of inter-salt and upper salt deposits of the SSTZ is proposed, background concentrations of macro- and micro-components of the natural hydrochemical field are substantiated. The analysis of the prospects for the oil and gas potential of the section is carried out.

The results are recommended for assessing the prospects of oil and gas potential of the famennian deposits of the SSTZ of the Pripyat trough and for operational evaluation of the results of testing.

Keywords: reservoir water, reservoir pressure, reservoir pressure gradient, reservoir temperature, geothermal gradient, geothermal stage, hydrogeochemical model.

УДК 551.248.1:553.982

ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАЛАВСКОЙ ПЛОЩАДИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НЕФТЕПОИСКОВЫХ ОБЪЕКТОВ

А. А. Шарунов

РУП «Производственное объединение “Белоруснефть”»
Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти
ул. Книжная, 15а, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: a.sharunov@beloil.by

В статье рассмотрена история палеотектонического развития Валавской площади в пределах Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба на основании авторской методики, которая включает в себя восемь этапов: стратиграфическое расчленение осадочного чехла, выбор «реперных» пластов и маркирующих горизонтов, структурные построения, анализ толщин, построение геологического профиля, построение серии палеотектонических профилей, построение изопохического треугольника, анализ локальных объектов и крупных структурных элементов.

На основе выполненного комплексного анализа определены нефтеперспективные объекты с постановкой работ в следующей очередности: Южно-Липлянская (верхнесоленосный и межсолевой комплексы), Южно-Валавская (межсолевой комплекс), Ново-Гребеневская (верхнесоленосный комплекс), Ново-Липлянская (верхнесоленосный комплекс) площади на нефть в Южной структурно-тектонической зоне.

Ключевые слова: толщина пласта, структурная карта, исследуемая площадь, структурный элемент, скважина, ловушка, миграция.

ВВЕДЕНИЕ

Миграционные процессы углеводородов в недрах характеризуются тесной зависимостью между формированием залежей и историей тектонического развития отдельных регионов. Для образования залежи углеводородов одним из обязательных условий является формирование структурной или литологической ловушки в совокупности с региональным наклоном осадочных толщ. Даже первично образовавшиеся залежи в благоприятных геологических условиях в последующем могут быть разрушены в результате изменившихся тектонических условий. Например, в процессе осадконакопления при изменении азимутального падения отложений антиклинальные складки могут утрачивать свойства структурных ловушек, углеводороды мигрируют вверх по восстанию пластов и вновь могут образовывать залежи в новых структурных или литологических ловушках, располагающихся на пути миграции. Глубокие эрозионные размывы и/или зоны стратиграфического несогласия также могут вскрыть продуктивные отложения, что приводит к разрушению уже существовавших ранее залежей. Погружения и поднятия территорий, глубокие размывы сводов антиклинальных складок, содержащих залежи углеводородов, приводят к изменению пластовых давлений и температур, в результате чего создаются условия для протекания ретроградных процессов, приводящих к изменениям фазового состояния углеводородов [14].

В свете сказанного выше становится очевидным, что эффективность поисков залежей углеводородов в значительной мере зависит от достоверности представлений об истории тектонического развития изучаемого региона и отдельных локальных поднятий. Для воссоздания этой истории современные структурные карты оказываются недостаточными, и их следует дополнять палеогеологическими картами и картами толщин отложений. Комплексное изучение этих карт позволяет уверенно устанавливать время формирования крупных тектонических элементов на изучаемой территории и характер последующего их развития. В данной работе рассматривается история тектонического развития Валавской площади в пределах Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба (рис. 1).

ПАЛЕОТЕКТОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для изучения истории тектонического развития и динамики осадконакопления в пределах исследуемой площади использовался следующий методический подход:

а) стратиграфическое расчленение осадочного чехла, составление табличных данных по пробуренным скважинам (глубины залегания и абсолютные отметки вскрытых горизонтов, альтитуды, вскрытые тектонические нарушения и пересчетные отметки);

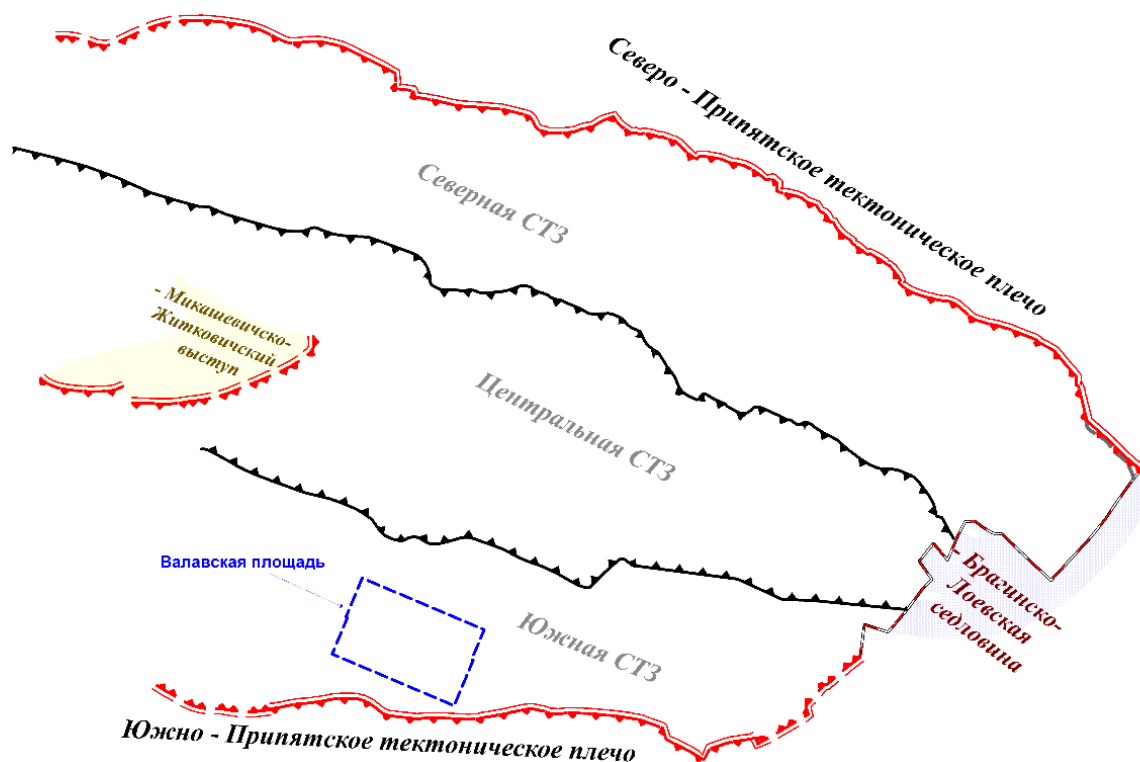


Рисунок 1 – Обзорная карта площади исследования

б) выбор «реперных» пластов и маркирующих горизонтов от более древних до самых молодых с учетом особенностей тектонического развития;

в) структурные построения поверхностей «реперных» пластов с учетом сейсмических исследований 3D;

г) анализ толщин (составление табличных данных, построение карт изопакит намеченных «реперных» пластов и суммарных карт изопакит «реперных» пластов);

д) выбор и построение представительного геологического профиля по скважинам;

е) построение серии палеотектонических профилей с выравниванием определенных «реперных» пластов;

ж) построение изопакитического треугольника;

з) анализ локальных объектов и крупных структурных элементов.

а) Стратиграфическое расчленение. Стратиграфическая характеристика осадочного чехла на данной площади приведена согласно утвержденной стратиграфической схеме 1981 г. [12], которая к настоящему времени является рабочей во всех подразделениях РУП «ПО Белоруснефть». Принятая рабочая схема положена в основу выделения основных стратиграфических подразделений в скважинах Южной структурной зоны [9; 11].

Для палеотектонического анализа все имеющиеся данные по стратиграфическому расчленению

разреза, которые легли в основу исследования, разделены по территориальному местоположению исследуемой Валавской площади на 3 участка (южный, центральный и северный). Несмотря на то, что в пределах съемки 3D (Валавский куб) пробурено всего 10 глубоких скважин, дополнительно использованы данные бурения 12 скважин, расположенных в непосредственной близости к участку (табл. 1, 2). Из 22 пробуренных скважин только три скважины вскрыли 4 тектонических нарушения в отложениях подсолевого комплекса. Породы кристаллического фундамента вскрыты бурением в 9 скважинах, но только в 4 из них охарактеризован разрез всего осадочного чехла.

б) Выбор «реперных» пластов и маркирующих горизонтов. Выбор «реперных» пластов для палеотектонических профилей определялся по наиболее представительным и уверенно коррелируемым стратиграфическим горизонтам с учетом особенностей осадконакопления в следующей последовательности:

- поверхность кристаллического фундамента (AR + PR₁);
- кровля ланского горизонта (D₃ln);
- кровля семилукского горизонта (D₃sm);
- кровля воронежского горизонта (D₃vr);
- кровля кустовницких слоев евлановского горизонта (D₃ev(kst));

- кровля нижнесолеванной толщи (подошва межсолевого комплекса) (D₃lv);
- кровля задонского горизонта (D₃zd);
- кровля межсолевого комплекса (D₃ptr);

- поверхность надсолевых девонско-пермских отложений (D₃pl-P);
- поверхность кайнозойских отложений (KZ).

Таблица 1 – Стратиграфическое расчленение разрезов, вскрытых скважинами (подсолевой комплекс, нижнесолеванная толща)

Местоположение	Скважина	AR-PR1	PR2	D2vtb-pr	D2nr	D2st	D3ln	D3sr	D3sm	D3rch	D3vr	D3ev(kst)	D3lv
Южный участок	2 Н-Хутурская	2941			2916,5	2870	2837,5	2801,5	2787		2782		
	3 Н-Хутурская	4162				4149	4118	4090	4077		4064,5	4041	3850
	35 Ю-Валавская	4844		4838,5	4797,5	4696	4665	4633	4623,5			4609,5	4315
	1 Ю-Валавская												
	3 Валавская												4688
	1 Ольховская												
	1 Гребенёвская	5256	5245,5	5232,5	5182	5088,5	5056,5	5007	4995,5		4981,5	4965,5	4501
Центральный участок	2 Валавская					4856	4826	4779,5	4766		4742,5	4725,5	4100
	1 Валавская												3620,5
	1 3-Валавская					4527,5	4496	4450	4436		4420	4403	3956
	3 3-Валавская												3740
Северный участок	2 3-Валавская	4150	4113	4100,5	4046	3936	3904,5	3858	3842,5		3830	3814,5	3422
	1 Липлянская	2984,5	2897	2887,5	2840	2717	2686,5	2644	2621,5		2613,5	2604,5	2370
	2 Липлянская												2271
	1 Дубницкая	2836,5	2747	2729	2681,5	2010,5	2521	2472,5	2458		2451	2444	2228
	2 Дубницкая					2412,5	2377,5	2332,5	2315		2307,5	2301	2226
	1 3-Софиевская					3121	3091	3044,5	3028,5		3007	2992	2612
	3 3-Софиевская												2679,5
	4 Николаевская												2876,5
	2 Николаевская	3622,5			3575,5	3481	3449	3400	3387	3385	3356	3321,5	3062
	3 Николаевская						3881,5	3832	3817,5	3814	3782,5	3742,5	2958,5
	1 Николаевская	4246			4226	4131,5	4100	4050,5	4036	4032,5	3997	3953,5	3095

2916,5
2870

тектоническое нарушение
отложения вскрыты не в полном объеме
отложения не вскрыты бурением

Таблица 2 – Стратиграфическое расчленение разрезов, вскрытых скважинами (межсолевой комплекс, вернесолеванная толща, надсолевой комплекс)

Местоположение	Скважина	D3dm	D3zd(kz)	D3zd(ton)	D3zd(trm)	D3zd(vsh)	D3el(tr)	D3el(dr)	D3ptr	GALIT-D3pl-P	T-KZ
Южный участок	2 Н-Хутурская	2758,5	2718	2642	2620	2532	2383	2299	2223,5	258	4
	3 Н-Хутурская	3815	3780	3690	3658,5	3561,5	3440	3343,5	3230	215	4
	35 Ю-Валавская	4283	4246	4158,5	4123	4007	3936	3856,5	3748,5	456	4
	1 Ю-Валавская									433	4
	3 Валавская	4646,5	4599,5	4520	4495	4406,5	4226	4142,5	4050	572	4
	1 Ольховская								3653,5	504,5	4
	1 Гребенёвская	4467,5	4415	4303	4243	4102,5	4047,5	3993	3928	261	4
Центральный участок	2 Валавская	4061,5	4016,5	3958	3937	3844,5	3728,5	3640,5	3566,5	740	4
	1 Валавская	3591,5	3555,5	3493,5	3468	3398	3294,5	3199,5	3125	587	4
	1 3-Валавская	3920	3870,5	3765,5	3731,5	3610	3570	3538,5	3459	674	4
	3 3-Валавская	3701	3661,5	3514	3458	3366	3322,5	3303	3265,5	526	4
Северный участок	2 3-Валавская	3383	3338,4	3200	3158,5	3070,5	3041	3020	2980	697	4
	1 Липлянская	2345,5	2291	2178,5	2123,5	2039	2016	1999	1964	298	4
	2 Липлянская	2245,5	2193,5	2081,5	2040	1948,5	1921	1910	1873,5	263	4
	1 Дубницкая	2198	2160	2010,5	1945,5	1865	1789,5	1723,5	1675	270	4
	2 Дубницкая	2203	2184,5	2033	1971	1896,5	1859	1817,5	1775,5	300	4
	1 3-Софиевская	2577	2548,5	2517	2485,5	2438,5	2411,5	2382,5	2355,5	662	4
	3 3-Софиевская	2647	2625	2607	2581	2543,5	2517	2483,5	2452,5	615	4
	4 Николаевская	2850,5	2822	2785	2761,5	2710	2631,5	2571,5	2515	714	4
	2 Николаевская	2960,5	2929,5	2893	2871,5	2825	2748,5	2690	2631	795	4
	3 Николаевская	2932	2899,5	2852	2823	2761,5	2678,5	2593	2541,5	693	4
	1 Николаевская	3069,5	3037,5	2981,5	2950	2881,5	2788	2694,5	2632	515	4

2758,5

отложения вскрыты не в полном объеме
отложения не вскрыты бурением

Следует отметить, что о тектонике Припятского прогиба в целом можно судить на основании анализа строения основных маркирующих горизонтов – поверхностей: кровли пород кристаллического фундамента, кровли подсолевых отложений, кровли межсолевой и кровли верхне-соленосной толщ, а также приуроченности основных промышленных запасов нефти в лебедянском, елецком, задонском, воронежском, семилукском и ланском горизонтах. На основании этого определены основные восемь маркирующих горизонтов для построения изопахического треугольника, структурные построения приведены в следующей последовательности:

– AR-PR₁ – поверхность кристаллического фундамента как уверенная граница подошвы осадочного чехла;

– D₃ln – поверхность ланского горизонта как уверенная верхняя граница подсолевого терригенного комплекса верхнего девона;

– D₃sm – поверхность семилукских отложений, которые включают в себя основной продуктивный резервуар подсолевого комплекса по распределению промышленных запасов нефти Припятского прогиба;

– D₃vr – поверхность воронежского горизонта, который характеризуется резким изменением азимутального падения пластов и уменьшением суммарной мощности птичских и стреличевских слоев относительно мощности описываемых отложений Северной и Центральной структурно-тектонической зон Припятского прогиба (табл. 3, рис. 5, 6, 8, 11);

– D₃lv – поверхность ливенского горизонта как уверенная верхняя граница нижне-соленосной толщи;

– D₃zd – поверхность задонских отложений горизонта, которые включают в себя основной продуктивный резервуар межсолевого комплекса по распределению промышленных запасов нефти Припятского прогиба;

– D₃ptr – поверхность петриковского горизонта как уверенная верхняя граница кровли межсолевого комплекса;

– D₃pl-P – поверхность предпермского регионального перерыва верхнедевонских отложений и пермской системы, ознаменовавшей завершающую стадию формирования Припятского палеорифта, после которой характерны относительно спокойные условия осадконакопления, существенно не оказавшие влияния на структурный фактор нижезалегающих горизонтов.

По исследованиям В. Н. Бескопыльного, главная фаза нефтеобразования во всех очагах Припятского

нефтегазоносного бассейна завершилась во время предпермского регионального перерыва в осадконакоплении (на стадии общего подъема и сжатия региона), в результате значительного остывания (на 50–70°C) осадочного чехла [4].

По проведенным ранее работам исследователей, на территории прогиба движение подземных вод в качестве агента транспортировки углеводородов к ловушкам наиболее эффективным было на этапах наибольшей активизации разломов и обусловлено ими [13]. То есть прослеживается тесная генетическая связь между основными этапами активизации тектонической деятельности, активизации движения подземных вод и временем формирования нефтяных залежей. Последнее в основном завершилось в среднекаменноугольное время, т. е. тогда, когда практически прекратились интенсивные тектонические движения по разломам.

Несмотря на то, что, начиная с раннекаменноугольной эпохи, территория Припятского прогиба вступила в стадию пострифтовой синеклизы, одной из отличительных особенностей исследуемой территории является частичное либо полное отсутствие каменноугольных отложений (рис. 2).

Причиной выбора маркирующего горизонта D₃pl-P вместо кровли верхне-соленосной толщи послужил соляной тектогенез [6], обусловленный неравномерным постседиментационным перераспределением мощных соленосных толщ, а также процессами приконтинентального седиментогенеза, характерной особенностью которого является быстрая инъекция кластического материала в зону аккумуляции с последующим фракционированием осадка в соответствии с законами осаждения частиц и образования турбидитов. Здесь седиментация отличалась лавинными темпами приращения разреза терригенного материала с Украинского кристаллического щита [1; 8]. Суммирование общих толщин использовалось с целью исключения влияния на палеотектонический анализ локальных поднятий и крупных структурных элементов.

в) Структурные построения. Построения выполнялись в программном продукте PETREL на основании стратиграфического расчленения осадочного чехла, пересчетных отметок, вскрывших тектонические нарушения, ранее проведенных работ, а также проведенной структурной интерпретации по данным сейсмических исследований 2D и 3D [5]. Набор обзорных структурных карт основных реперных горизонтов представлен на рисунках 3, 4.

г) Анализ толщин. Значимость анализа толщин при палеотектонических исследованиях во всех нефтегазоносных бассейнах мира общепризнана [15].

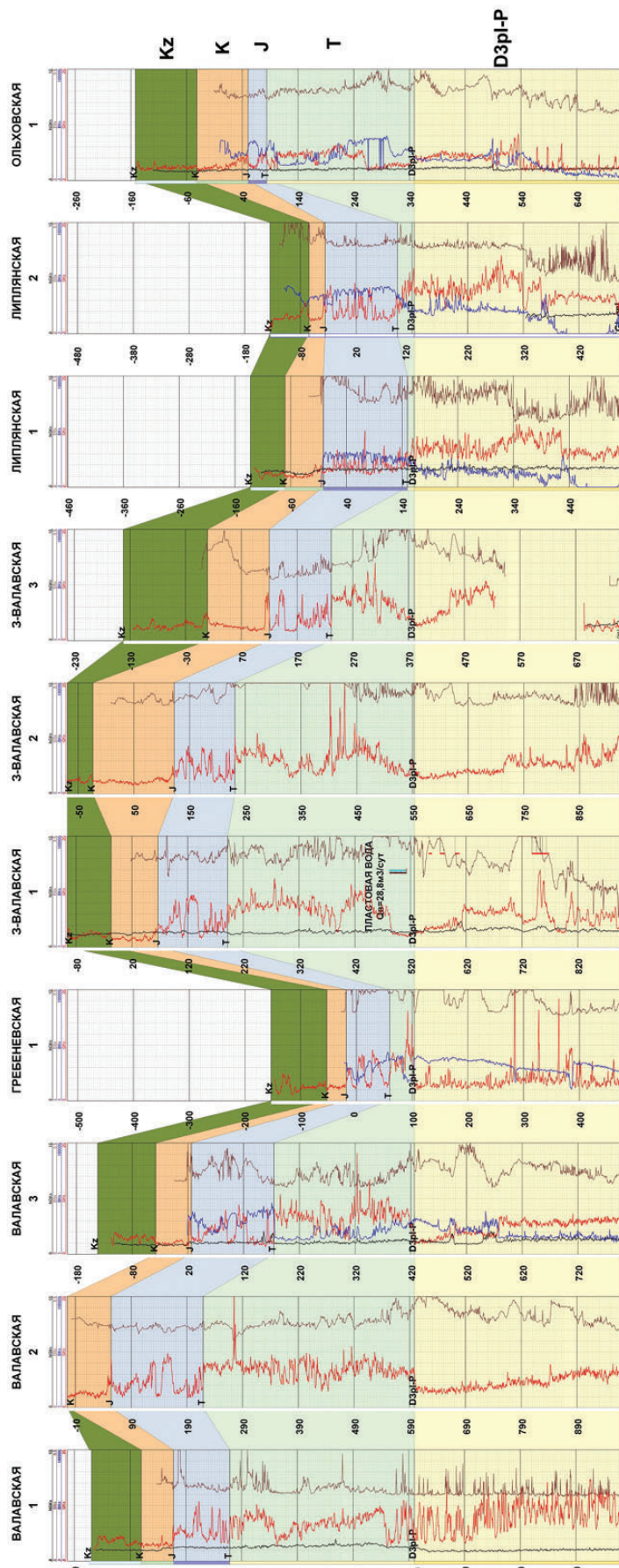


Рисунок 2 – Схема корреляции по скважинам в пределах сейсмических исследований методом 3D
(1 Валавская – 2 Валавская – 3 Валавская – 1 Гребенёвская – 1 З-Валавская – 2 З-Валавская –
3 З-Валавская – 1 Липлянская – 2 Липлянская – 1 Ольховская)

Решающая роль тектонического (палеотектонического) фактора в формировании Припятского прогиба прямо следует из анализа разрезов осадочного чехла. И данные глубокого бурения на исследуемой площади показали, что каждый горизонт/толща если и неоднородны в деталях, то во всяком случае сложены фациально близкими между собой образованиями. В данном разделе учитывались данные бурения 22 скважин, которые были разбиты по территориальному местоположению исследуемой площади на 3 участка (южный, центральный и северный) (табл. 3, 4).

Согласно структурным построениям, в современном плане самым погруженным участком является юго-западная часть исследуемой площади. Но с учетом анализа толщин, начиная с верхнепротерозойских отложений, юго-западная часть имела обратно пропорциональную картину и погружение в палеоплане испытывала северо-восточная часть

(рис. 5, 6). Здесь следует отметить, что в восточной части исследуемого участка отсутствуют верхнепротерозойские отложения. Данный факт повлиял на историю осадконакопления исследуемой площади вплоть до воронежских отложений.

К началу накопления воронежских отложений структурный план участка начал претерпевать изменения. В отличие от Северной и Центральной структурно-тектонических зон, здесь характерно отсутствие речичных отложений, а также резкое сокращение отложений воронежского горизонта. Тенденция увеличения толщин наблюдается в северо-восточном направлении. Такая же закономерность сохранилась к началу отложений евлановского возраста. Данный факт позволяет охарактеризовать южную и западную части исследуемой площади как наиболее благоприятные участки для скопления углеводородов к началу формирования нижне-соленосной толщи.

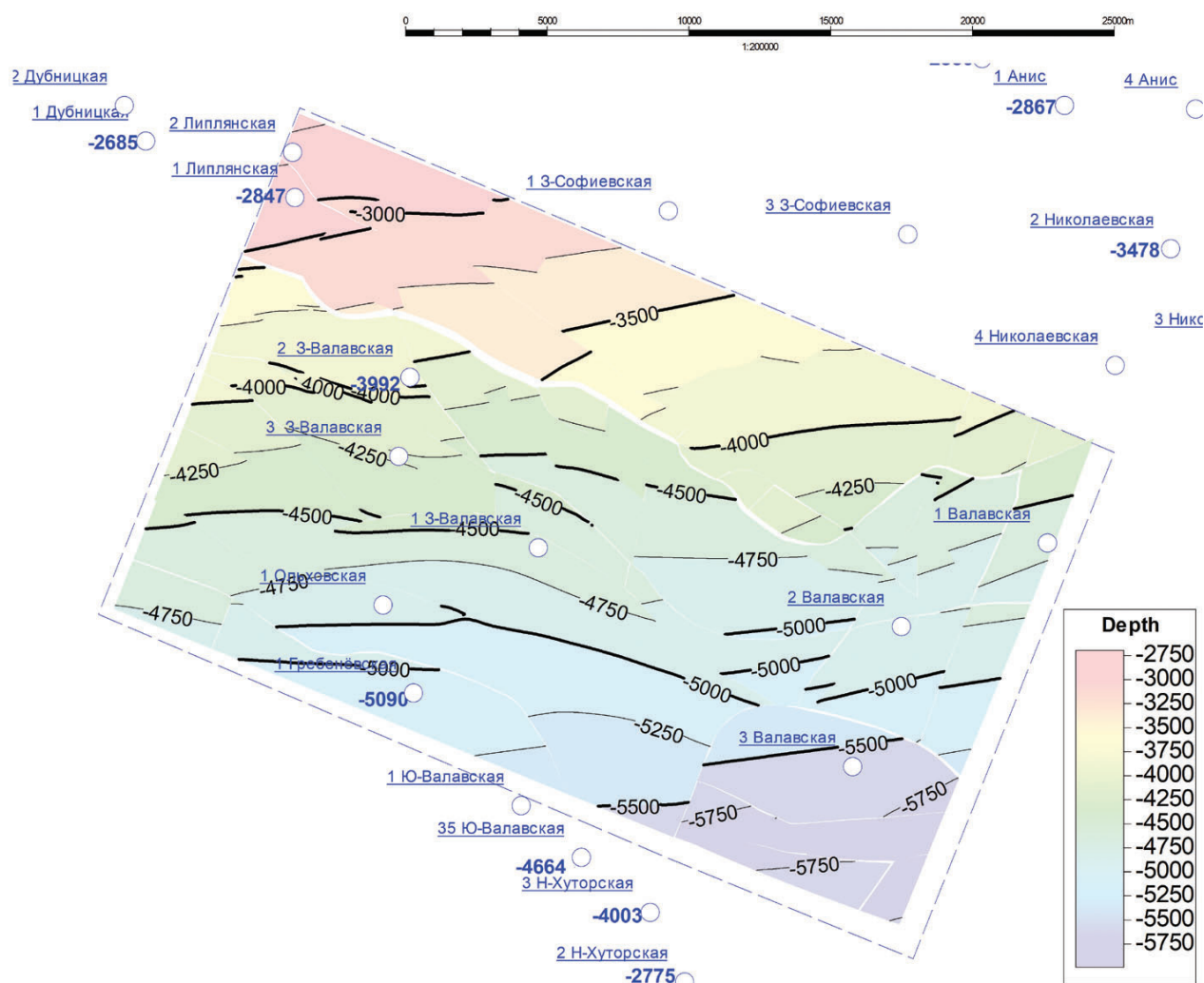


Рисунок 3 – Обзорная структурная карта поверхности кристаллического фундамента

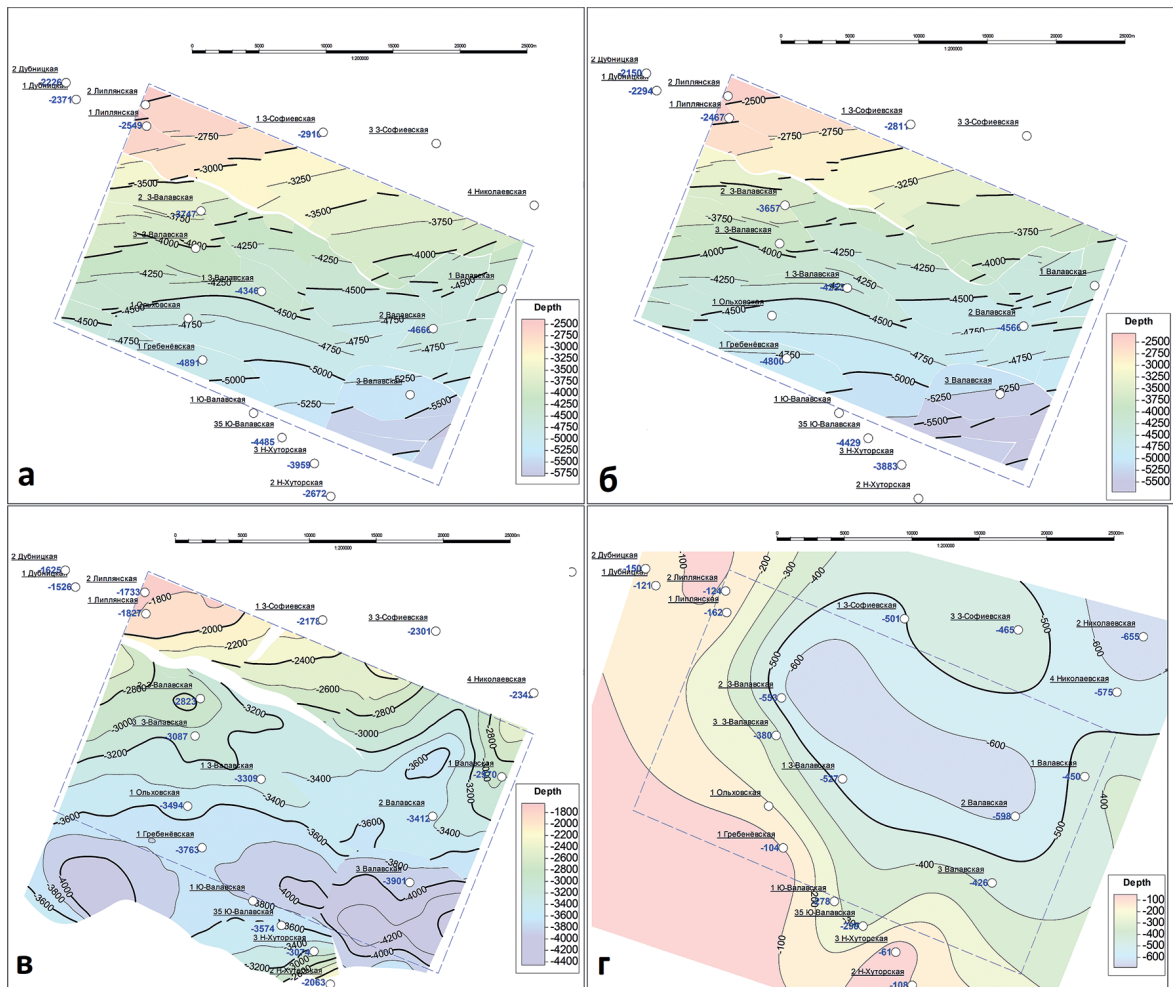


Рисунок 4 – Серия обзорных структурных карт основных представительных горизонтов
(а – D₃ln; б – D₃ev(kst); в – D₃ptr; г – D₃pl-P)

Таблица 3 – Толщины горизонтов по данным бурения (подсолевой комплекс, нижнесолёная толща)

Местоположение	Скважина	PR2	D2vtb-pr	D2nr	D2st	D3ln	D3sr	D3sm	D3rch	D3vr	D3ev(kst)	D3lv
Южная часть	2 Н-Хуторская	0	0	25	100	32	36	14	0	14	14	3
	3 Н-Хуторская	0	0	30	100	31	28	13	0	12	23	190
	35 Ю-Валавская	0	6	41	101	31	32	12	0	13	16	293
	1 Ю-Валавская											
	3 Валавская											"18"
	1 Ольховская	10	13	50	93	32	49	11	0	14	16	464
Центральная часть	2 Валавская	0	6	41	93	30	47	13	0	23	17	622
	1 Валавская											"114"
	1 3-Валавская	15	12	52	96	32	46	14	0	16	17	447
	3 3-Валавская											"15"
Северная часть	2 3-Валавская	37	12	55	110	31	46	16	0	12	16	392
	1 Липинская	88	10	47	123	30	43	23	0	8	9	234
	2 Липинская											"29"
	1 Дубницкая	89	18	47	126	34	46	16	0	7	7	216
	2 Дубницкая	90	20	47	127	35	45	17	0	7	6	42
	1 3-Софиевская	30	12	55	110	30	47	16	0	21	15	379
	3 3-Софиевская											"210"
	4 Николаевская											"34"
	2 Николаевская	0	0	47	94	32	49	13	2	29	34	335
	3 Николаевская	0	0	25	94	32	50	14	4	31	40	784
	1 Николаевская	0	0	20	94	31	49	14	4	35	43	857

40	Пересчитанная мощность
3	Соляной тектогенез
	Отложения не вскрыты бурением
"18"	Вскрытая мощность

Таблиця 4 – Толщини горизонтів по даним бурення (межосолевого комплексу, вернесоленосна товща, надсолевого комплексу)

Местоположение	Скважина	D3dm	D3zd(kz)	D3zd(ton)	D3zd(trm)	D3zd(vsh)	D3el(tr)	D3el(dr)	D3ptr	GALIT-D3pl-P	T-KZ
Южная часть	2 Н-Хуторская	"20"	40	76	22	88	149	84	75	1956	254
	3 Н-Хуторская	35	34	90	31	97	121	96	113	3013	211
	35 Ю-Валавская	32	37	87	35	116	71	79	108	3275	452
	1 Ю-Валавская									"3331"	429
	3 Валавская	41	47	79	25	88	180	83	92	3475	568
	1 Ольховская								"79"	3145	500
	1 Гребенёвская	33	52	112	60	140	55	54	65	3660	257
Центральная часть	2 Валавская	38	45	58	21	92	116	88	74	2814	736
	1 Валавская	29	36	62	25	70	103	95	74	2520	583
	1 3-Валавская	36	49	105	34	121	40	31	79	2782	670
	3 3-Валавская	39	39	147	56	92	43	19	37	2707	522
Северная часть	2 3-Валавская	39	44	138	41	88	29	21	40	2270	693
	1 Липнянская	24	54	112	55	84	23	17	35	1665	294
	2 Липнянская	25	52	112	41	91	27	11	36	1609	259
	1 Дубницкая	30	38	149	65	80	75	66	48	1405	266
	2 Дубницкая	23	18	151	62	74	37	41	42	1475	296
	1 3-Софиевская	35	28	31	31	47	27	29	27	1677	658
	3 3-Софиевская	32	22	18	26	37	26	33	31	1834	611
	4 Николаевская	26	28	37	23	51	78	60	56	1766	710
	2 Николаевская	25	31	36	21	46	76	58	59	1834	791
	3 Николаевская	26	32	47	29	61	83	85	51	1839	689
	1 Николаевская	25	32	56	31	68	93	93	62	2111	511

Отложения не вскрыты бурением
"18" Вскрытая мощность

Начиная с евлановского времени структурный план претерпел значительные изменения. Помимо изменения азимутального падения пластов, началась активная фаза работы тектонических нарушений. К началу осадконакопления межсолевого комплекса азимутальный наклон пластов сменился в восточном направлении. К началу петриковского времени азимутальное падение пластов изменилось на юго-восточное. Такая тенденция сохранилась вплоть до современных условий осадконакопления (см. рис. 5, 6).

д) Построение представительного геологического профиля по скважинам. На основании проведенного анализа выделенных «реперных» пластов в качестве эталонного нами построен геологический разрез с северо-запада на юго-восток через скважины 1 Дубницкая, 1 Липнянская, 1 3-Валавская и 2 Валавская, который демонстрирует существенные изменения толщин анализируемых отложений от минимальных до максимальных и отметки вскрытия пластов (рис. 7).

е) Построение серии палеотектонических профилей. В основу палеоструктурных построений положено представление о том, что «реперный» пласт на момент формирования вышележащей толщи залегал субгоризонтально. Серия палеотектонических профилей на основании представительного геологического профиля наглядно характеризует резкую смену падения пластов, начиная с воронежского горизонта (рис. 8, 9).

ж) Построение изопахического треугольника. Построение изопахического треугольника выполнялось с целью поиска и анализа формирования отдельных локальных поднятий, а также других крупных структурных элементов. Данные построения позволяют одновременно проводить анализ формирования различных структурных поверхностей, выбранных в стратиграфическом разрезе, и наглядно

показывают изменения современных структурных планов по разрезу. Методологически данный вид исследований проводился в следующей последовательности: построение комплекса карт толщин, группируемых в треугольник, и последующий анализ локальных поднятий, а также крупных структурных элементов по намеченному структурному районированию в пределах исследуемой площади. Здесь выделены четыре зоны локальных поднятий и два субрегиональных разлома третьего порядка (рис. 10).

Выбор структурного районирования подсолевого комплекса обусловлен тем, что в северной и юго-восточной части Валавской площади межсолевого комплекса прослеживаются тектонические нарушения, трассируемые с подсолевых отложений.

На рисунке 11 вариант построения серии обзорных структурных карт и карт толщин представлен в следующей последовательности: левый ряд отображает серию современных обзорных структурных карт по выбранным маркирующим горизонтам, которые характеризуют изменения современного геологического строения осадочного чехла, каждый следующий вертикальный ряд, располагающийся справа и идущий параллельно структурным картам, представляет собой серию палеоструктурных поверхностей сверху вниз и отображает отдельные этапы геологического времени. Горизонтальные ряды карт изопахического треугольника являются сериями палеоструктурных карт, которые дают возможность проследить изменения во времени структурных планов по каждому из выбранных маркирующих горизонтов для различных этапов времени – от самого древнего (пород кристаллического фундамента) до палеозойской эры. По гипотенузе располагаются отдельные карты толщин анализируемых горизонтов.

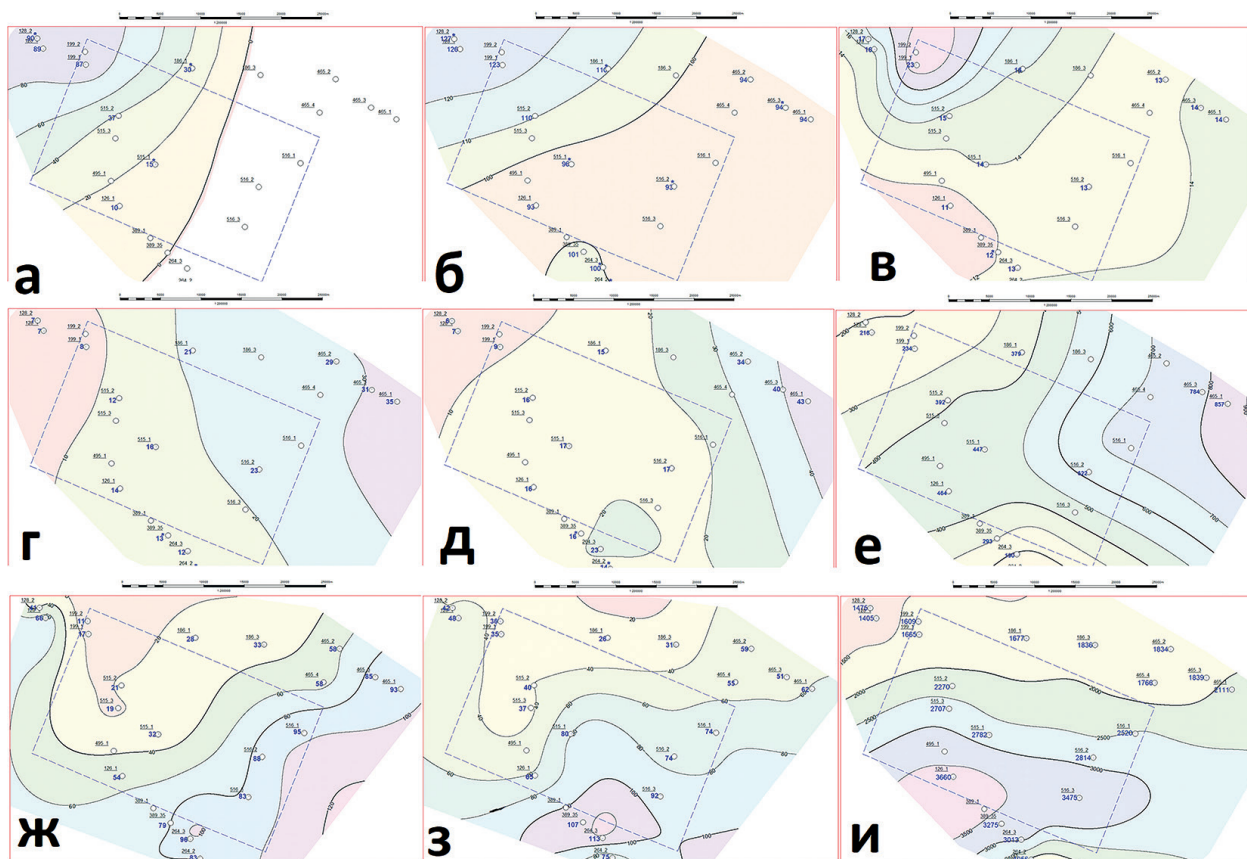


Рисунок 5 – Карты толщин по горизонтам
(а – PR₂; б – D₃st; в – D₃sm; г – D₃vr; д – D₃ev(kst); е – D₃lv-ev(an); ж – D₃el(dr); з – D₃ptr; и – Galit-D₃pl-P)

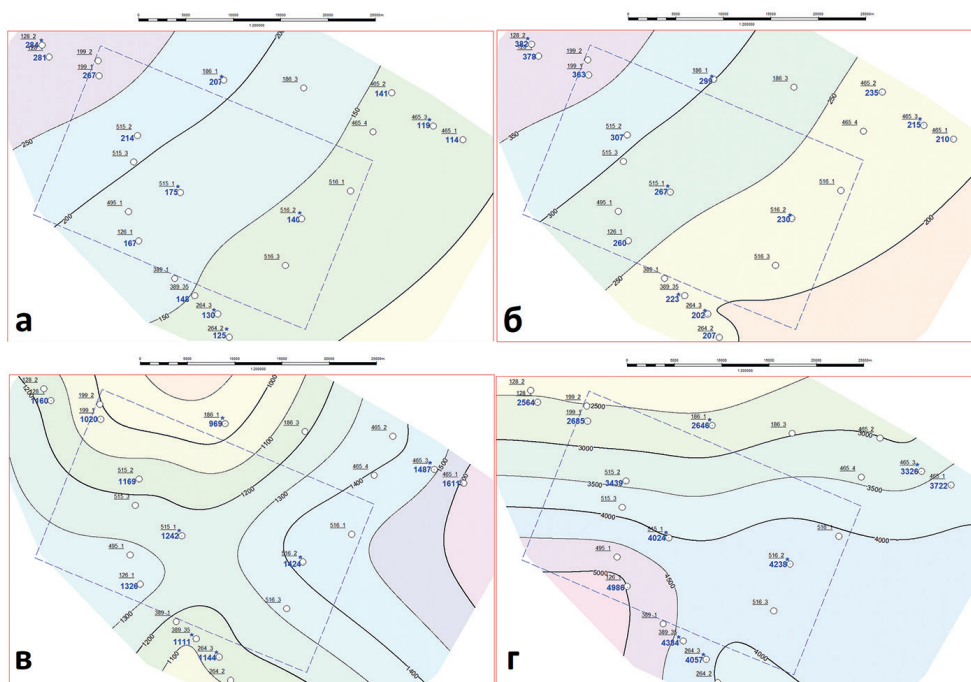


Рисунок 6 – Карты суммарных толщин от подошвы осадочного чехла
(а – PR₂-D₃st; б – PR₂-D₃sm; в – PR₂-D₃ptr; г – PR₂-P)

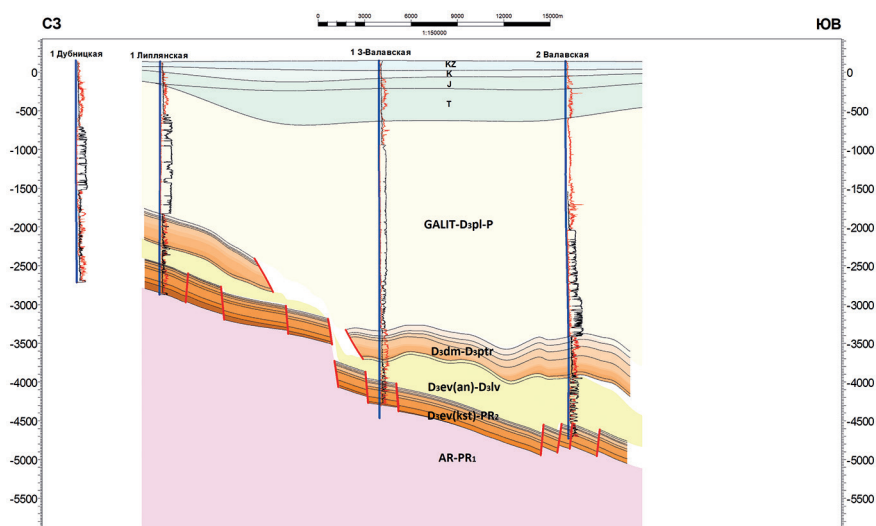


Рисунок 7 – Современный геологический разрез через скважины 1 Дубницкая – 1 Липлянская – 13-Валавская – 2 Валавская

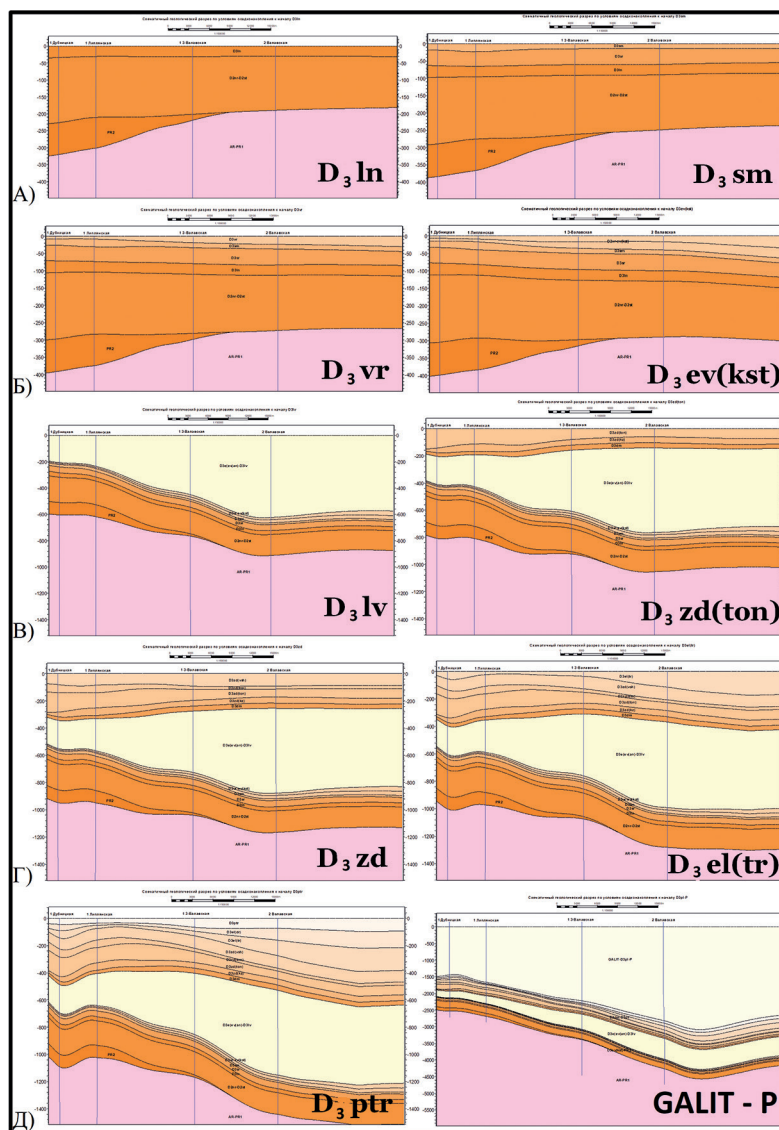


Рисунок 8 – Серия палеотектонических профилей по условиям осадконакопления, к началу отложений: А) – D_3ln и D_3sm ; Б) – D_3vr и $D_3ev(kst)$; В) – D_3lv – $D_3zd(ton)$; Г) – D_3zd – $D_3el(tr)$; Д) – D_3ptr – Galit-P

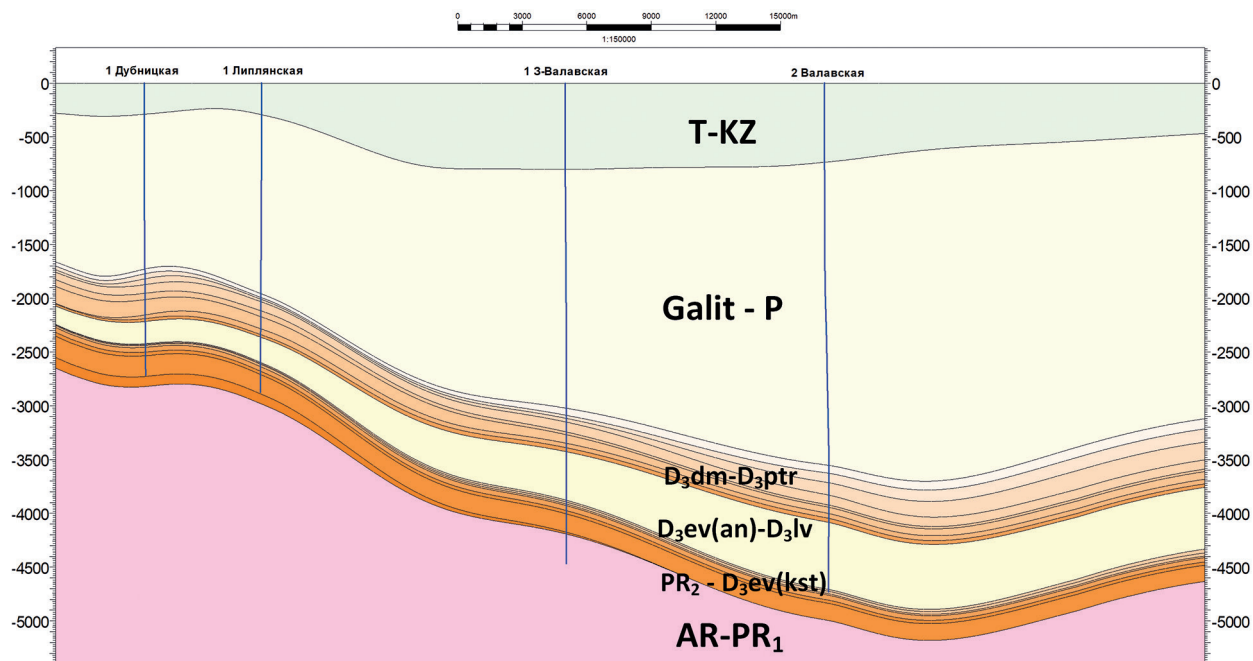


Рисунок 9 – Палеотектонический профиль по условиям осадконакопления к началу формирования кайнозойской эры

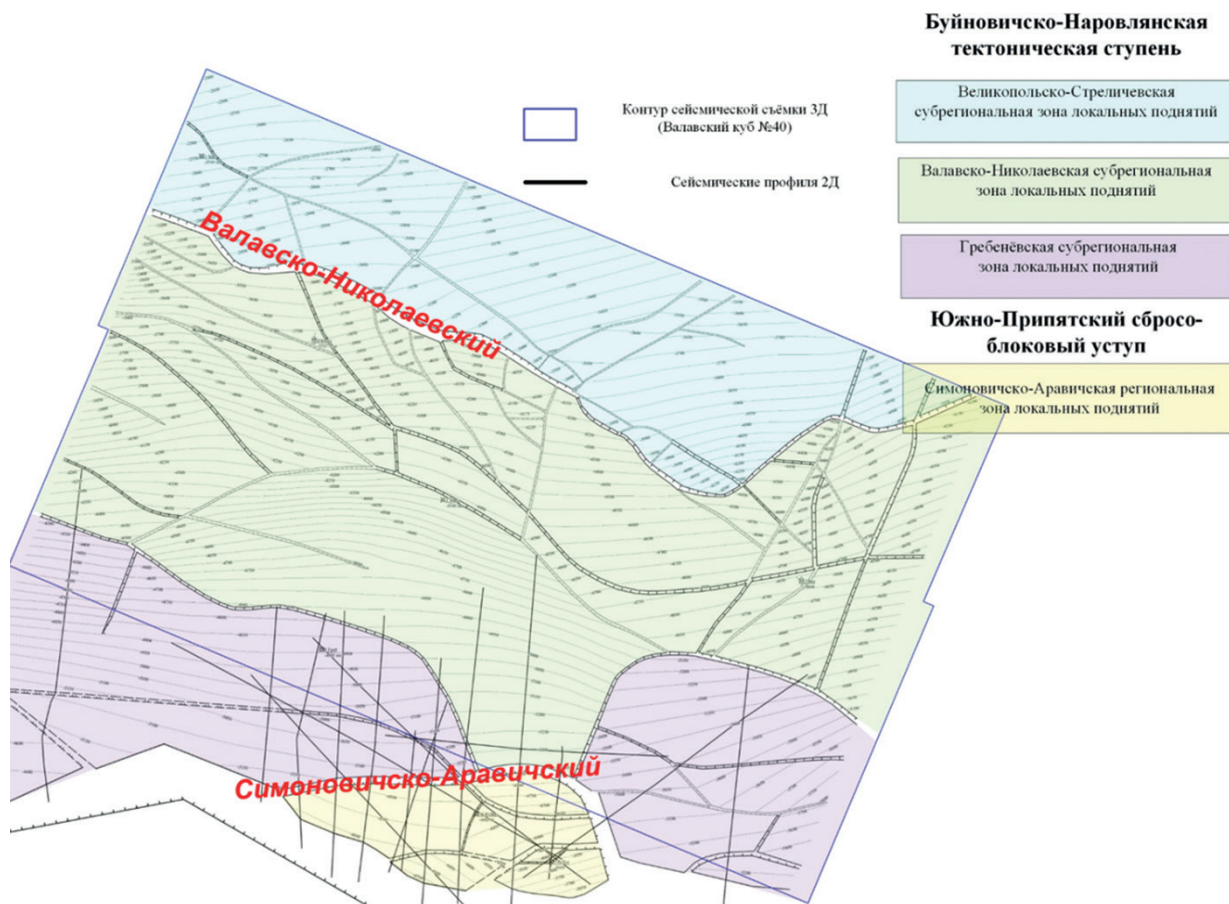


Рисунок 10 – Схема структурного районирования подсолевого комплекса Валавской площади (2023)

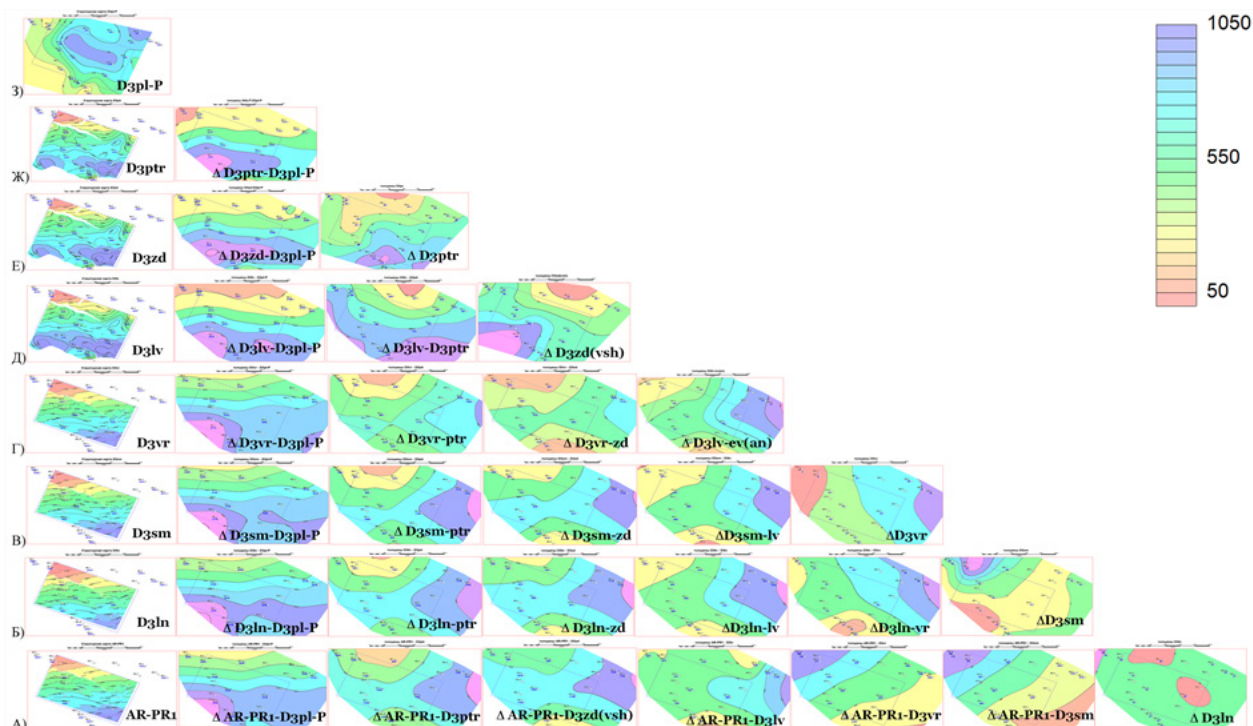


Рисунок 11 – Изопахический треугольник (изменение во времени обзорных структурных планов: А) AR-PR₁; Б) D₃ln; В) D₃sm; Г) D₃vr; Д) D₃lv; Е) D₃zd; Ж) D₃ptr

Во время осадконакопления D₃ln территория исследования не претерпевала существенных изменений, толщина отложений составила от 30 до 35 м. К завершению осадконакопления D₃ln угол падения пласта составил 0,3 градуса.

К завершению осадконакопления мощность семилукских отложений по скважинам в среднем составила 15 м. Значения толщин составили от 11 м в южной до аномальных 23 м в северо-западной части площади. Здесь аномальные толщины по скв. 1 Липлянская характеризуют рост локальной органогенной постройки. Данный факт характеризуется максимальными эффективными толщинами – 13,4 м пород-коллекторов и положительные гидрогеологические показатели (содержание катионов аммония – 369 мг/л), относительно ближайших расположенных скважин 1 Дубницкая на северо-западе и 2 3-Валавская на юго-востоке – 11 и 4,6 м соответственно (содержание катионов аммония 144 и 230 мг/л соответственно).

К завершению осадконакопления мощность воронежских отложений по скважинам составила от 7 м в северо-восточной части до 35 м в северо-восточной части площади. Резкое превышение толщин в 5 раз свидетельствует о начале активной фазы тектонической деятельности.

К завершению осадконакопления мощность отложений нижнесоленосной толщи D₃lv–D₃ev(an) по скважинам составила от 190 м в южной части до 857 м в северо-восточной части площади. Дан-

ный период ознаменовался началом формирования структурообразующих тектонических нарушений подсолевых терригенного и карбонатного комплексов – в частности, Валавско-Николаевского и Симоновичско-Аравичского разломов, которые возможно послужили основным экраном, обуславливающим прекращение латерального движения флюидов и обеспечивающим застойные пластовые условия на пути миграции углеводородов в ловушки [10]. Суммарные максимальные вскрытые скважинами толщины осадочного чехла к началу формирования межсолевых отложений составили 1148 м в северо-восточной части, минимальные толщины составили 427 м в южной части.

К завершению формирования межсолевых отложений вплоть до современного периода максимальные толщины межсолевого комплекса характерны для южной части исследуемой площади, что негативно сказалось на формировании нефтеперспективных ловушек подсолевого комплекса в связи с тем, что не было масштабных миграционных процессов от мощной толщи нефтематеринских пород и органогенных построек в северо-западной части в юго-восточную приподнятую часть исследуемой площади. Об этом свидетельствует только единичный непромышленный приток нефти по скв. 35 Южно-Валавская в отложениях нерасчлененной толщи евлановско-ливенских отложений в пределах Симоновичско-Аравичской региональной зоны локальных поднятий.

Более благоприятным для формирования ловушек углеводородов явился межсолевой комплекс [7], т. к. с начала отложений домановичского горизонта в целом южная часть исследуемой площади испытывала погружение, а северная и северо-западная часть территории исследований – подъем.

К завершению осадконакопления вишанских слоев задонского горизонта мощность отложений по скважинам составила от 37 м в северной до 140 м в юго-западной части площади.

К завершению осадконакопления петриковского горизонта мощность отложений по скважинам составила от 27 м в северной до 113 м в южной части площади. Локальная тенденция изменения толщин здесь отмечается в северо-западной части исследуемого участка, между скважинами 2 3-Валавская и 1 Липлянская, что могло благоприятно сказаться на формировании ловушки углеводородов.

Вследствие отсутствия мощных нефтематеринских толщ в отложениях внутрисолевого комплекса нефтеперспективные ловушки являются только локальными и сложно поддаются палеотектоническому анализу как в методическом, так и в прикладном аспектах. Это обусловлено соляным тектогенезом (галокинезом), а также значительным сносом терригенных пород с Украинского кристаллического щита.

Несмотря на проведенные ранее исследования по геолого-геофизическому моделированию палегеоморфологических объектов раннефаменского бассейна, в настоящее время остается нерешенным ряд актуальных вопросов по закономерностям распространения неантиклинальных ловушек, обстановок их формирования и оценке влияния процессов осадконакопления на образование углеводородов [2; 3].

Но вместе с тем, учитывая современный структурный план и анализ условий осадконакопления межсолевого комплекса, можно предполагать, что наиболее благоприятные условия для миграции и формирования ловушек углеводородов были в северо-западной части территории исследования ввиду того, что воздымание пластов в целом идет на северо-запад.

3) Анализ локальных объектов и крупных структурных элементов. Детальными сейсморазведочными работами 3D по данным структурного районирования в пределах участка были выделены 4 структурно-тектонические зоны (см. рис. 10), а также детальным комплексом динамических исследований (объектно-ориентированный сейсмогеологический анализ совместно со спектральной декомпозицией и атрибутным анализом) выявлены 5 нефтеперспективных объектов (рис. 12, 13). Данные объекты были подвергнуты палеотектоническому анализу на предмет постановки первоочередных геологоразведочных работ [5]:

– *Великопольско-Стреличевская субрегиональная зона локальных поднятий* характеризуется минимальными абсолютными отметками вскрытия пластов для поиска структурных ловушек в северо-западной части исследуемой площади. Самыми благоприятными условиями формирования ловушек УВ в отложениях межсолевого и внутрисолевого комплексов являются участки в районе скважин 1 и 2 Липлянские;

– *Валавско-Николаевская субрегиональная зона локальных поднятий* характеризуется наибольшим генерационным площадным потенциалом. Самыми благоприятными условиями формирования ловушек УВ в отложениях подсолевого, межсолевого и внутрисолевого комплексов являются участки в районе скважин 1 3-Валавская и 2 3-Валавская;

– *Гребенёвская субрегиональная зона локальных поднятий* характеризуется максимальными абсолютными отметками вскрытия пластов с депрессионными условиями осадконакопления в отложениях межсолевого комплекса. Здесь развиты благоприятные условия для формирования аутигенных скоплений углеводородов в нефтематеринских отложениях с низкими фильтрационно-емкостными в районе скважин 3 Валавская и 1 Гребенёвская;

– *Симоновичско-Аравичская зона локальных поднятий* характеризуется благоприятными условиями осадконакопления для формирования органогенных построек, недостаточно освещена сейсморазведочными работами 3D. Благоприятными условиями формирования ловушек УВ в отложениях подсолевого, межсолевого и внутрисолевого комплексов является район юго-восточнее скв. 35 Южно-Валавская;

– *Ново-Липлянская внутрисолева ловушка* характеризуется благоприятными условиями осадконакопления для формирования ловушки УВ, можно рекомендовать бурение поисковой скв. 1 Н-Липлянская;

– *Южно-Липлянская внутрисолева и межсолевая ловушки* характеризуются благоприятными условиями осадконакопления для формирования ловушек УВ, можно рекомендовать бурение поисковой скв. 1 Ю-Липлянская (5 Валавская);

– *Ново-Гребенёвская внутрисолева ловушка* характеризуется благоприятными условиями осадконакопления для формирования ловушки УВ, можно рекомендовать бурение поисковой скв. 1 Н-Гребенёвская;

– *Ново-Валавская межсолевая ловушка* характеризуется неблагоприятными условиями осадконакопления для формирования традиционной ловушки УВ. Рекомендуется к опосредованному бурением скв. 1 Н-Валавская только после получения положительных результатов опосредованного Ю-Липлянской ловушки для поиска аутигенных скоплений УВ.

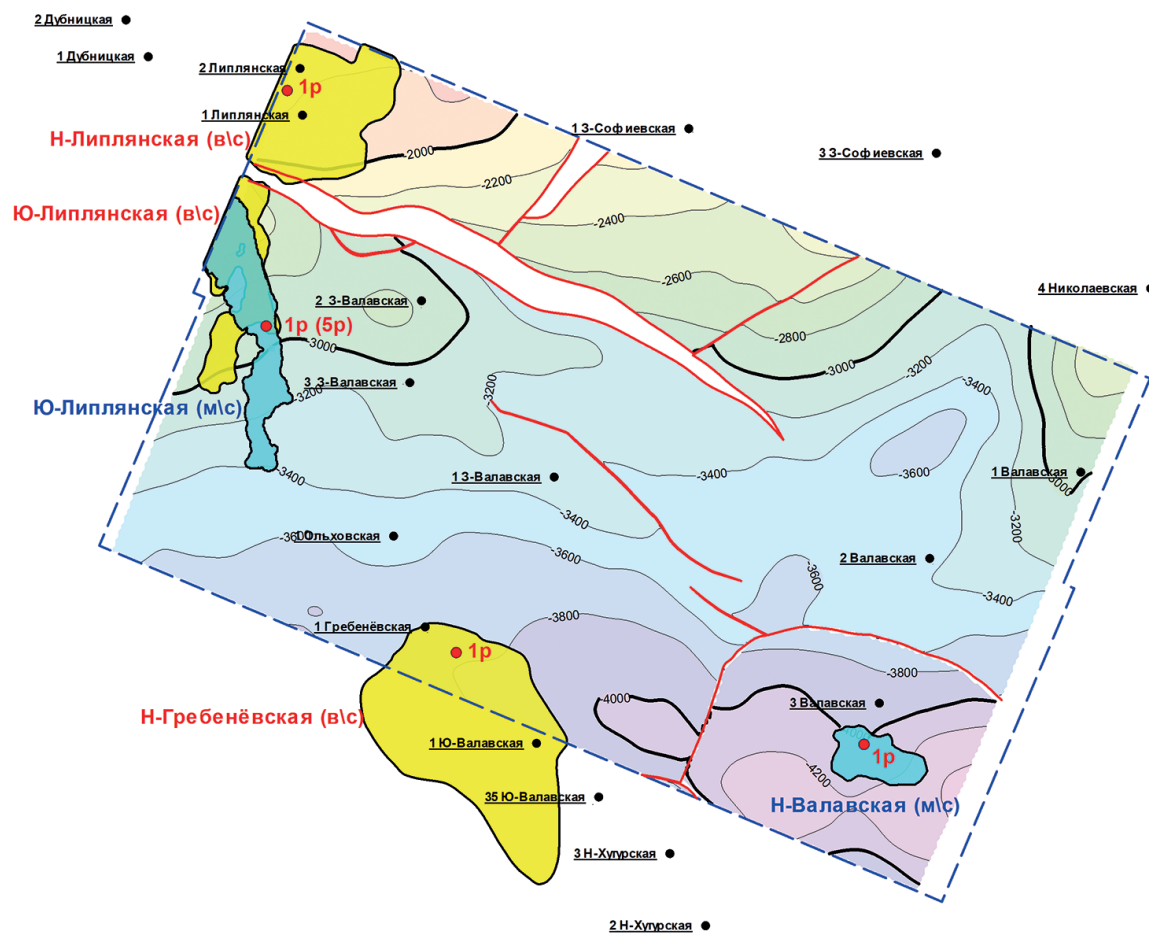


Рисунок 12 – Карта совмещенных ловушек на структурной карте кровли межсолового комплекса

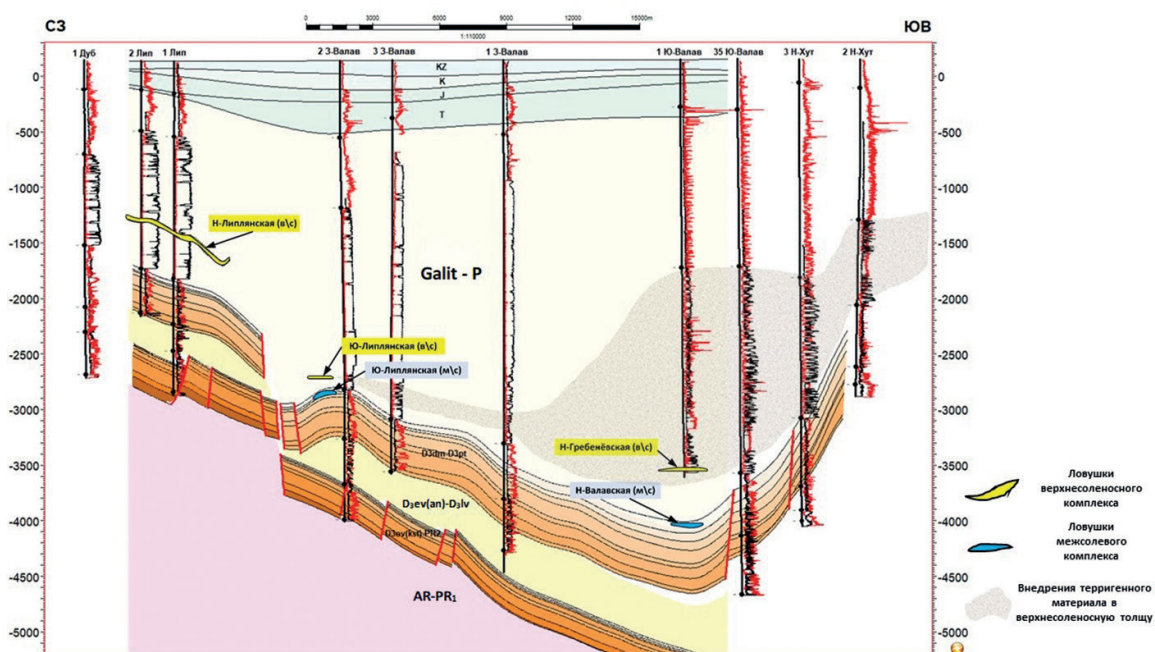


Рисунок 13 – Современный геологический разрез с нефтеперспективными ловушками через скважины 1 Дубницкая – 2 Липлянская – 1 Липлянская – 2 3-Валавская – 3 3-Валавская – 1 3-Валавская – 1 Ю-Валавская – 35 Ю-Валавская – 3 Н-Хуторская – 2 Н-Хуторская

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного палеотектонического анализа установлено:

- отсутствие притоков углеводородов в процессе проводки глубоких скважин на исследуемой площади не указывает на отсутствие перспектив, а указывает на неоптимальное заложение проектных скважин для выявления залежей углеводородов;

- анализ структурных построений показал, что современный план существенно разнится с начальными условиями осадконакопления. Самая погруженная в настоящее время юго-восточная часть исследуемой площади во время формирования отложений подсолевого комплекса характеризуется минимальными толщинами;

- к окончанию осадконакопления подсолевого терригенного комплекса D_3In территория исследования не претерпевала существенных изменений;

- к завершению осадконакопления семилукского горизонта мощность одноименных отложений в среднем составила 15 м. Значения толщин составили от 11 м в южной до аномальных 23 м в северо-западной части площади. Аномальные толщины по скв. 1 Липлянская указывают на рост локальной органогенной постройки;

- о начале активной фазы тектонической деятельности свидетельствует резкое превышение толщин воронежского горизонта (в 5 раз);

- к завершению осадконакопления нижнесоленосной толщи ($D_3lv-D_3ev(an)$) мощность одноименных отложений составила от 190 до 857 м. Данный период ознаменовался началом формирования структурообразующих тектонических нарушений, которые, возможно, послужили основным экраном, обуславливающим прекращение латерального движения флюидов и обеспечивающим застойные пластовые условия на пути миграции углеводородов в ловушки флюидов;

- от начала формирования межсолевых отложений вплоть до современного периода максимальные толщины характерны для южной части исследуемой площади, что негативно сказалось на формировании нефтеперспективных ловушек подсолевого комплекса в связи с тем, что не было масштабных миграционных процессов из мощной толщи нефтематеринских пород, а также локальных органогенных построек (семилукские отложения в скв. 1 Липлянская) северо-западной части в юго-восточную приподнятую часть исследуемой площади;

- межсолевой комплекс явился более благоприятным для формирования ловушек УВ;

- к завершению формирования отложений петриковского горизонта мощность одноименных

отложений составила от 27 м в северной до 113 м в южной части площади. Локальная тенденция изменения толщин по горизонту здесь отмечается в северо-западной части Валавско-Николаевской субрегиональной зоны локальных поднятий, между скважинами 2 3-Валавская и 1 Липлянская, что могло благоприятно сказаться на формировании ловушки углеводородов;

- вследствие отсутствия мощных нефтематеринских толщ в отложениях внутрисолевого комплекса нефтеперспективные ловушки имеют локальное развитие и сложно поддаются палеотектоническому анализу как в методическом, так и в прикладном аспектах. Это обусловлено как соляным тектогенезом, так и значительным сносом терригенных пород с Украинского кристаллического щита.

Проведенные исследования изменения мощностей отложений в разные этапы времени позволили обозначить благоприятные условия осадконакопления для формирования ловушек и наметить первоочередные мероприятия для их опоискования.

Первый приоритет – опоискование Ю-Липлянской внутрисолевой и межсолевой ловушек бурением поисковой скв. 1 Ю-Липлянская (5 Валавская). Бурение скважины позволит опоискать не только две структуры, а также подтвердить или опровергнуть высокую нефтеперспективность в пределах русловых фаций ЮСТЗ [5].

Второй приоритет – опоискование Н-Валавской межсолевой ловушки бурением скв. 1 Н-Валавская. Значительная ресурсная база только в отложениях петриковского горизонта, а также высокая степень изученности сейсморазведочными работами 3D [5] послужила основой выбора объекта второй очереди.

Третий приоритет – опоискование Н-Гребенёвской внутрисолевой ловушки бурением скв. 1 Н-Гребенёвская. Такая очередность обусловлена площадью выявленной ловушки, наличием двух прогнозных резервуаров (верхнего и нижнего), а также высокие прогнозные емкостно-фильтрационными свойствами пород-коллекторов нижнего резервуара южной части территории [5]. Но, к сожалению, оконтуривание южной части ловушки профилями 2D прошлых лет не позволяет отнести данный объект к первоочередным.

Четвертый приоритет – опоискование Н-Липлянской внутрисолевой ловушки бурением скв. 1 Н-Липлянская. Опоискование данного объекта целесообразно по результатам глубокого бурения на Ю-Липлянской ловушке.

Многолетний опыт исследования Припятского нефтегазоносного бассейна бесспорно показывает, что для определения первоочередных

направлений геологоразведочных работ и опоискования выявленных нефтеперспективных объектов знания только современных условий формирования ловушки недостаточно. Необходимы ясные представления об истории тектонического развития площади, которые могут быть получены в результате комплексирования геолого-геофизических работ, сопровождаемых бурением глубоких скважин. Таким образом, проведенный

палеотектонический анализ позволяет выяснить историю формирования структурных элементов по значению толщин стратиграфических комплексов и оценивает перспективы нефтегазоносности намеченных к глубокому бурению ловушек. Это в свою очередь позволит минимизировать риски при поисковом бурении, а также повысить коэффициент успешности поискового бурения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Айзберг, Р. Е.** Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба / Р. Е. Айзберг, Т. А. Старчик. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 143 с.
2. **Байкова, Т. А.** Неантиклинальные ловушки углеводородов в нижнефаменских отложениях Южного нефтеперспективного района Припятского прогиба : автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Т. А. Байкова. – Минск, 2003. – 20 с.
3. **Байкова, Т. А.** Прогноз неантиклинальных ловушек по комплексу геолого-геофизических данных / Т. А. Байкова // Природные резервуары нефти в Припятском прогибе. – Минск, 2001. – С. 90–108.
4. **Бескопильный, В. Н.** Об основном очаге нефтегазообразования в Припятском нефтегазоносном бассейне / В. Н. Бескопильный // Изв. АН СССР. Сер. Геологическая. – 1975. – № 10. – С. 169.
5. **Грудинин, А. С.** Прогнозирование и локализация нефтеперспективных объектов на Валавской площади в пределах Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба / А. С. Грудинин, А. С. Конищенко. – Гомель, 2023. – 311 с.
6. **Конищев, В. С.** Соляная тектоника Припятского прогиба / В. С. Конищев. – Минск : Наука и техника, 1975. – 150 с.
7. **Микуцкий, С. П.** Площадное распространение коллекторов межсолевого комплекса в пределах Внутреннего грабена / С. П. Микуцкий, З. Л. Познякевич, В. В. Масюков // Природные резервуары нефти в Припятском прогибе. – Минск, 2001. – С. 126–42.
8. **Обровец, С. М.** Ранне- и среднефаменский седиментогенез в Припятском рифтовом бассейне / С. М. Обровец, И. А. Яшин, С. А. Кручек. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 201 с.
9. **Оценка** состояния и определение направлений поисково-разведочных работ на нефть в Припятском прогибе : отчёт о НИР (заключ.) / РУП «Производственное объединение “Белоруснефть”», БелНИПИнефть ; рук. Б. А. Дубинин. – Гомель, 2013. – 999 с.
10. **Познякевич, З. Л.** Природные резервуары межсолевого комплекса Южного НПР / З. Л. Познякевич, И. А. Слободянюк // Природные резервуары нефти в Припятском прогибе. – Минск, 2001. – С. 13–17.
11. **Разработка** оптимальных подходов к комплексированию геолого-геофизической информации с целью локализации нефтеперспективных объектов в пределах Южной структурно-тектонической зоны Припятского прогиба : отчет о НИР (заключ.) / РУП «Производственное объединение “Белоруснефть”», БелНИПИнефть ; рук. А. С. Грудинин. – Гомель, 2022. – 385 с.
12. **Решения** межведомственного регионального стратиграфического совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем Белоруссии 1981 г. с унифицированными стратиграфическими корреляционными таблицами // редкол.: В. С. Акимец [и др.]. – Гомель, 1983. – 135 с.
13. **Творонович-Севрук, Д. Л.** Геодинамические исследования Припятского прогиба: конспект лекций для магистрантов / Д. Л. Творонович-Севрук. – Минск : Бел. гос. ун-т, 2021. – 56 с.
14. **Теоретические** основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа : учебник для вузов : в 2 кн. / А. А. Бакиров [и др.]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд. дом Недра, 2012. – Кн. 1. – 412 с. ; Кн. 2. – 416 с.
15. **Флаас, А. С.** Геотектоника (методические приемы палеотектонического анализа): учеб. пособие / А. С. Флаас. – Пермь : Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 197 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 01.02.2024

Рэцэнзент А. В. Бібікава

ПАЛЕАТЭКТАНІЧНЫ АНАЛІЗ ВАЛАЎСКОЙ ПЛОШЧЫ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ ДЛЯ ВЫЗНАЧЭННЯ ПРЫЯРЫТЭТНЫХ НАФТАПОШУКАВЫХ АБ'ЕКТАЎ

А. А. Шаруноў

РУП «Вытворчае аб'яднанне “Беларуснафта”»
Беларускі навукова-даследчы і праектны інстытут нафты
вул. Кніжная, 15а, 246003, Гомель, Беларусь
E-mail: a.sharunov@beloil.by

У артыкуле разгледжана гісторыя палеатэктанічнага развіцця Валаўскай плошчы ў межах Паўднёвай структурна-тэктанічнай зоны Прыпяцкага прагіну на падставе аўтарскай метадыкі, якая ўключае ў сябе восем этапаў: стратыграфічнае расчлененне асадкавага чахла, выбар «рэпярных» пластоў і маркіруючых гарызонтаў, структурныя пабудовы, аналіз таўшчынь, пабудова геалагічнага профілю, пабудова серыі палеатэктанічных профіляў, пабудова ізапахічнага трыкутніка, аналіз лакальных аб'ектаў і буйных структурных элементаў.

На аснове выкананага комплекснага аналізу вызначаны нафтаперспектыўныя аб'екты з пастаноўкай работ у наступнай чарговасці: Паўднёва-Ліплянская (верхнесаляносны і міжсалявы комплексы), Паўднёва-Валаўская (міжсалявы комплекс), Нова-Грабянеўская (верхнесаляносны комплекс), Нова-Ліплянская (верхнесаляносны комплекс) плошчы на нафту ў Паўднёвай структурна-тэктанічнай зоне.

Ключавыя словы: таўшчыня пласта, структурная карта, доследная плошча, структурны элемент, свідравіна, пастка, міграцыя.

PALEOTECTONIC ANALYSIS OF THE VALAVA AREA OF THE PRIPYAT TROUGH FOR DETERMINATION PRIORITY OIL EXPLORATION FACILITIES

A. Sharunov

State Production Association “Belorusneft”
Belarusian Oil Research and Design Institute
15a Knizhnaya St, 246003, Gomel, Belarus
E-mail: a.sharunov@beloil.by

The article examines the history of the paleotectonic development of the Valava area within the Southern structural-tectonic zone of the Pripyat trough on the basis of the author's methodology, which includes eight stages: stratigraphic breakdown of the sedimentary cover, selection of “reference” layers and marking horizons, structural constructions, thickness analysis, geological profile plotting, construction of a series of paleotectonic profiles, construction of an isopach triangle, analysis of local objects and large structural elements.

Based on the performed complex analysis, potentially oil-bearing objects were identified with organization of work in the following order: Yuzhno-Liplyanskaya (upper salt and inter-salt complexes), Yuzhno-Valavskaya (inter-salt complex), Novo-Grebenevskaya (upper salt complex), Novo-Liplyanskaya (upper salt complex) oil fields in the Southern structural-tectonic zone.

Keywords: formation thickness, structural map, study area, structural element, well, trap, migration.

УДК 622.276/552.54

ПАВ-ПОЛИМЕРНОЕ ЗАВОДНЕНИЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В ДЕВОНСКИХ КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. О. Чекан, А. А. Кудряшов, Д. А. Господарев, И. В. Лымарь, А. О. Цыганков

РУП «Производственное объединение “Белоруснефть”»
 Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти
 ул. Книжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь

E-mail: 1chekan.alex@gmail.com, kudryashov@beloil.by, d.gospodarev@beloil.by, I.Lymar@beloil.by, a.tsygankov@beloil.by

В статье подробно описывается процесс подбора объектов для проведения работ по технологии ПАВ-полимерного заводнения на месторождениях Припятского прогиба и процесс выбора оптимальной ПАВ-полимерной композиции для повышения эффективности добычи нефти на выбранном объекте. Описаны результаты проведения фильтрационных экспериментов. Работа представляет собой систематические исследования петрофизических свойств залежей углеводородов Припятского прогиба, химической структуры нефти, с последующим анализом стабильности дисперсной системы и вероятности образования твердой фазы, исследования по выбору и оптимизации поверхностно активных веществ и полимеров с дальнейшим испытанием выбранной ПАВ-полимерной композиции на керновых моделях пласта.

Ключевые слова: карбонатные горные породы, петрофизические свойства, поверхностно-активные вещества, полимеры, лабораторные исследования.

ВВЕДЕНИЕ

ПАВ-полимерное заводнение относится к группе химических методов увеличения нефтеотдачи (ХМУН) пластов. Химические методы увеличения нефтеотдачи основаны на закачке в пласт различных химических реагентов. В основном это полимеры, поверхностно-активные вещества (ПАВ), щелочи и т. д. Эта группа методов относится к третичным способам добычи углеводородов.

По данным международного энергетического агентства (IEA) промышленное применение ХМУН началось в 70-е гг. прошлого века [1]. Пик активности изучения и применения методов пришелся на 80-е гг. (рис. 1), основное количество мероприятий проводилось в США и Канаде. С 1990 г. наблюдалось снижение количества реализуемых проектов. С 1996 г. активное развитие химических методов увеличения нефтеотдачи (МУН) началось в Китае. По данным Н. Guo, J. Dong [2], в 2016 г. до 10 % годовой добычи нефти Китая приходилось на ХМУН. С использованием химических методов увеличения нефтеотдачи разрабатываются такие крупные месторождения, как Дацин, Шенли и Бохай [2]. Известны проекты в странах Латинской Америки, Персидского залива, Европы, а также в России, Индии, Анголе, Индонезии и др. [1–8].

Причины снижения количества проектов с применением химических методов увеличения нефтеотдачи пластов обусловлены экономической стороной вопроса. По данным IEA более 80 % мировой добычи с использованием МУН получены от проектов, на которые распространяются налоговые льготы от государств. Использование химических мето-

дов нуждается в больших первоначальных финансовых затратах и имеет длительные периоды окупаемости [1].

В мире на 01.01.2018 проекты с применением ХМУН реализовывались на 35 месторождениях. Метод ПАВ-полимерного заводнения использовался на трех (по данным [2] на восьми) китайских месторождениях (Шенли, Хенан, Синьцзян). Годовая добыча нефти за счет ПАВ-полимерного заводнения на этих месторождениях оценивается в 4,5 млн т [1].

Месторождения углеводородов, расположенные на территории Беларуси, сосредоточены в пределах Припятского прогиба. Подавляющая часть запасов нефти (более 90 %) приурочена к залежам, сложенным карбонатными отложениями. На текущий момент крупные месторождения, обеспечивающие основную добычу нефти (Речицкое, Осташковичское, Южно-Осташковичское, Вишанское, Тишковское и др.), обводнены на 70–90 %, а их извлекаемые запасы выработаны на 70–90 %. Они находятся на третьей, четвертой стадиях разработки, относятся к категории так называемых зрелых месторождений. Большинство залежей требует организации системы поддержания пластового давления. Также существуют проблемы, связанные со сложностью геологического строения, многочисленными разрывными нарушениями, наличием послойной и зональной неоднородности продуктивных пластов, развитием систем трещин различной направленности. Все это предопределяет неравномерную выработку запасов, преждевременное обводнение добывающих скважин по высокопроницаемым каналам фильтрации.

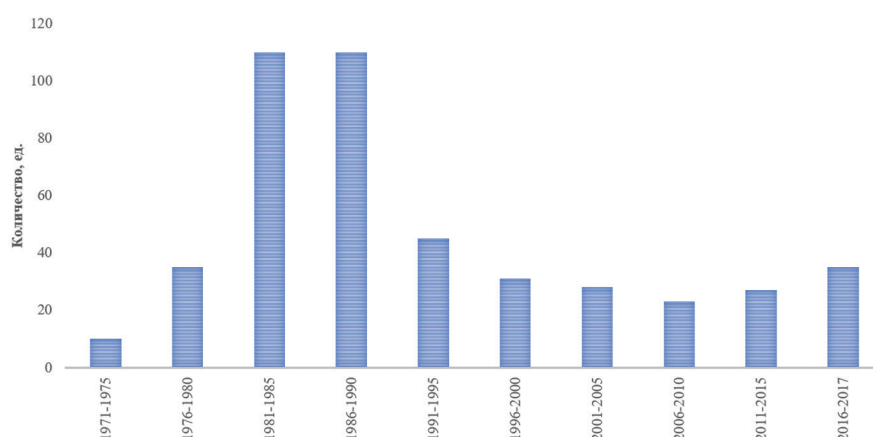


Рисунок 1 – Количество месторождений, на которых реализовывались химические МУН в период 1971–2017 гг. [1]

Основной объем работ производился на коллекторах, сложенных терригенным типом горных пород. Только около 20 % от всех работ по химическому заводнению проводилось на карбонатных пластах.

В связи с этим на зрелых месторождениях Беларуси, сложенных преимущественно карбонатными горными породами, для повышения эффективности мероприятий повышения нефтеотдачи пластов (ПНП) необходим постоянный поиск и внедрение новых технологий и эффективных методов планирования и проведения работ. Одной из таких перспективных технологий является ПАВ-полимерное заводнение [6–8].

ВЫБОР ОБЪЕКТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПАВ-ПОЛИМЕРНОГО ЗАВОДНЕНИЯ

Для внедрения технологии ПАВ-полимерного заводнения на месторождениях Республики Беларусь разработана методика обоснования объектов (рис. 2), в рамках которой были предложены критерии выбора объектов для ПАВ-полимерного заводнения. Также предложен подход оперативного отбора потенциальных объектов для применения методов повышения нефтеотдачи пласта.



Рисунок 2 – Методика обоснования объектов для ПАВ-полимерного заводнения в условиях Припятского прогиба

Таблица 1 – Критерии скрининга геологических объектов

Параметры скрининга	S. Thomas, 2006	A. Khanifar, 2019	J.J. Taber, 1997	Schlumberger, 2008	Brasher, 1978	Carcoana, 1982	Peter H., 1984	Goodlett, 1986	Al-Bahar, 2004	Aldasani Bai, 2010	Dickson, 2010	Al Hajri, 2010	Wang, 2007	Alvarado, 2010	SNF, 2012	Surguchev, 1992	В. Н. Манырин, 2002
Литология	терриген	терриген/карбонат	терриген										терриген	терриген/карбонат	терриген	терриген	Терриген.
Глубина, м <	2750	2440	2750	2440		2130		2743		191-1615	2750					1500	
Температура, С <	65	85	93	85	93	82	93	93	70	50-68	93	70	93	70	120	30	60
Проницаемость, мД >	100	20	10	20	20	35	40	40	50	50-60	100	50	20	-	50	50	30
Пористость, % >	15				20	20		20	-	-	-	-	-	-	-	10-35	
Текущая нефтенасыщенность, % >	35	30	35		25	30		30	35	43.5-53	45	35	35	35	20	30	40
Эффективная мощность, м >	6	3														2-25	
Плинистость, % <	5	низкая							низкая			низкая	15	низкая		5	
Неоднородность (коэффициент Дикстра - Парсона)										0,28-0,80			0,4-0,7				
Отношение проницаемости пропластков (k11/k12) <	да							5								3	
Коэффициент расчлененности, ед <																	3
Коэффициент песчанистости, ед >																	0,5
Вязкость нефти, сП <	35	35	35	30	20	30	30	35	150	3-15,6	35	150		150		2-15	50
Плотность нефти, кг/м3 <	877	904	934		904	904		904		922-835	934		934		966	870	
Минерализация пластовой воды, мг/л <	20000		20000		50000		100000	140000	50000		200000	50000	20000	35000	250000	150000	20000
Жесткость воды, мг/л <	500		500		1000				1000		50000	1000		1000			
Наличие подстилающей воды	нет								нет			нет		нет		нет	
Наличие газовой шапки	нет								нет			нет		нет			

На первом этапе проводился анализ применения технологии на зарубежных месторождениях и на месторождениях Припятского прогиба. По результатам анализа сформированы критерии выбора объектов. Основой для успешного применения технологий увеличения нефтеотдачи является определение оптимальных характеристик пласта-коллектора и вмещающего его флюида. Пилотные испытания на зарубежных месторождениях показывают, что успех химического заводнения в различных типах резервуаров сильно различается [2; 12–14]. И геолого-физические свойства пласта-коллектора в большинстве случаев являются

определяющим фактором, влияющим на эффект от химического заводнения. Для обоснованного определения критериев применения ПАВ-полимерного заводнения в условиях Припятского прогиба был изучен опыт зарубежных компаний (табл. 1).

Проанализировано применение химических реагентов с целью повышения нефтеотдачи пластов на месторождениях Припятского прогиба с 1970-х гг. по настоящее время. Основываясь на зарубежном опыте и с учетом практики проведения работ с использованием ХМУН на месторождениях Беларуси, были определены критерии выбора объектов для ПАВ-полимерного заводнения (табл. 2) [15].

Таблица 2 – Критерии выбора объектов для ПАВ-полимерного заводнения

Критерий	Оптимальные значения	Критические значения
Литология	Терригенный/ карбонатный	Терригенный/ карбонатный
Пористость, %	10–35	5
Коэффициент Дикстра – Парсонса, д. ед. (неоднородность)	0,4–0,7	0,86
Расчлененность, д. ед.	3–5	2
Проницаемость, мкм ² ·10 ^{–3}	более 100	10
Глинистость, %	менее 5	15
Текущая нефтенасыщенность, %	более 50	35
Температура, °С	менее 70	93
Плотность нефти, кг/м ³	менее 850	934
Вязкость нефти, сП	2–4	35
Минерализация пластовой воды, мг/дм ³	менее 20 000	250 000
Жесткость пластовой воды, мг/дм ³	менее 500	50 000
Минерализация нагнетаемой воды, мг/дм ³	менее 2000	200 000
Жесткость нагнетаемой воды, мг/дм ³	менее 500	50 000
Трещиноватость	отсутствует/ мелкотрещиноватые	среднетрещиноватые
Газовая шапка	отсутствует	отсутствует
Активная законтурная область	отсутствует	слабая
Гидродинамическая связь между добывающими и нагнетательными скважинами	установлена по результатам ГДИ, индикаторных исследований	установлена по результатам ГДИ, индикаторных исследований
Целостность э/к, отсутствие ЗКП	установлено по результатам ПГИ	установлено по результатам ПГИ

Следующим этапом обоснования объектов для ПАВ-полимерного заводнения является распределение критериев на подгруппы. В качестве определяющих факторов, влияющих на эффективность применения технологии, являются: литологический состав пород-коллекторов, смачиваемость, пористость, трещиноватость, неоднородность пласта, расчлененность, проницаемость, глинистость, нефтенасыщенность, остаточные запасы, пластовая темпера-

тура, плотность и вязкость нефти, минерализация и жесткость пластовой воды, система разработки залежи. Также важное значение имеют такие параметры, как способ эксплуатации добывающих скважин, вынос механических примесей, образование эмульсий, отложение солей и т. д.

Далее проводится ранжирование залежей по выбранным критериям с учетом проведенной группировки. С целью выбора и обоснования

потенциальных объектов для закачки ПАВ-полимерных систем было рассмотрено 269 залежей на 83 месторождениях Беларуси. В ходе проведения анализа данных установлено, что основными факторами, осложняющими выбор объекта для проведения ПАВ-полимерного заводнения на белорусских месторождениях, являются: низкая проницаемость, высокая неоднородность пластов, высокая минерализация и жесткость воды, низкая плотность остаточных извлекаемых запасов.

Далее проводится ранжирование залежей следующим способом. Каждой залежи выставляются скрининговые баллы, позволяющие оценить возможность эффективного применения ПАВ-полимерного заводнения. Общие скрининговые баллы выводятся из баллов по скользящей шкале для отдельных критериев отбора. Дополнительная добыча оценивается с учетом существующих процессов извлечения на месторождении и ограничивается теоретическим увеличением коэффициента извлечения нефти на 10 %.

Степень, в которой характеристики залежи отражают пригодность для применения ПАВ-полимерного заводнения, выражается в качестве скрининговых баллов по каждому из соответствующих критериев отбора. Баллы варьируют от 0 до 1, где ноль означает, что на объекте применение метода увеличения нефтеотдачи невозможно, а единица означает, что объект полностью соответствует критериям применения. Оценки скрининга присваиваются путем определения четырех пороговых значений для каждого соответствующего критерия. Минимум и максимум – это диапазон критериев, который является оптимальным, с получением скринингового балла 1. Нижний и верхний пределы (LLimit и ULimit) представляют собой диапазон критериев, в пределах которых есть вероятность успешности мероприятия (рис. 3). Значения критериев за пределами таких диапазонов получают нулевую оценку отбора [16; 17].



Рисунок 3 – Присвоение скрининговых баллов

Общий рейтинг объекта выводится после обработки скрининговых баллов в результате двух итераций. Во-первых, индивидуальные критерии взвешиваются по степени важности. Для каждого критерия проводится взвешивание и присваивание коэффициента от 0 до 1. Также это делается для того, чтобы учесть возможное дублирование, когда один и тот же механизм может быть представлен более чем одним критерием отбора, и полное взвешивание каждого из них может привести к чрезмерному представлению этого механизма. Во-вторых, в результате подсчета среднего взвешенного по всем критериям рассчитывается общий скрининговый балл для каждой залежи.

По результатам ранжирования установлено, что 262 залежи получили рейтинг 0, что свидетельствует о несоответствии критериям выбора объектов

для ПАВ-полимерного заводнения. Семь объектов получили рейтинг более 0, но менее 1, что говорит о частичном соответствии. Рейтинг 1 не был получен ни на одной из залежей [17].

На следующем этапе проводится геолого-промысловый анализ нефтяных залежей, по результатам которого выделяются наиболее перспективные участки для проведения опытно-промысловых работ. Для каждого участка выполняется ранжирование по промысловым показателям. Итоговый балл для участка определяется с учетом геологических параметров скрининга, полученных для каждой залежи при выборе потенциальных объектов для проведения ПАВ-полимерного заводнения.

По результатам ранжирования по промысловым показателям наибольший скрининговый балл получили участки, расположенные в пределах VII-

IX пачек и IV пачки zd горизонта Речицкого месторождения, III блока ptr-el залежи Березинского месторождения и участка 5 и 1, расположенные в пределах западного блока ln-st залежи Речицкого месторождения. По результатам расчета итогового скринингового балла установлено, что он имеет наибольшее значение в пределах III блока ptr-el за-

лежи Березинского месторождения, участка 5 ln-st залежи Речицкого месторождения, расположенного в восточной части залежи, и центрального участка в пределах VII-IX пачек zd горизонта Речицкого месторождения. Распределение итоговых скрининговых баллов представлено на рисунке 4.

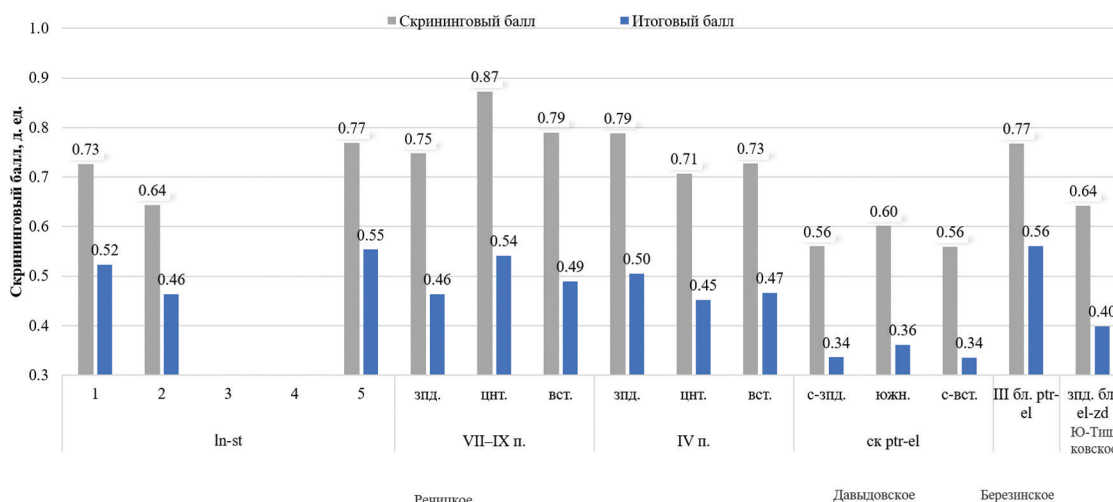


Рисунок 4 – Ранжирование участков для выбора объекта проведения опытно-промышленных работ по ПАВ-полимерному заводнению

Таким образом, исходя из проведенного анализа потенциальных участков для проведения ПАВ-полимерного заводнения, в качестве пилотного объекта были рекомендованы: участок 5 на западном блоке ln-st залежи (терригенные отложения) и центральный участок на VII-IX пачках zd горизонта Речицкого месторождения (карбонатные отложения).

ПОДБОР ПАВ-ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ ДЛЯ ТЕРМОБАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЫБРАННОГО ОБЪЕКТА

На следующем этапе проводились лабораторные исследования по подбору оптимальной ПАВ-полимерной композиции, пригодной для увеличения добычи нефти на задонской залежи (VII-IX пачки) Речицкого нефтяного месторождения.

Физико-химические свойства нефти. Для определения физико-химических свойств нефти целевого объекта проводился отбор и анализ проб. В ходе проведения анализа определялись: плотность нефти, содержание асфальтенов, смол, парафина, серы, фракционный состав, температура застывания, кинематическая вязкость, компонентный состав, кислотное число.

Определенное в результате исследования массовое содержание асфальтенов, смол и ароматики позволило выполнить SARA-анализ, определяющий устойчивость дисперсной системы и вероятность образования твердой фазы. Согласно теории

коллоидной стабильности нефтяных дисперсных систем, для оценки их устойчивости необходимо знать соотношения насыщенные/ароматические соединения и асфальтены/смолы. Полученные значения накладывались на графическую зависимость, приведенную на рисунке 5 [18; 19]. По расположению соответствующей точки на приведенном графике возможно оценить вероятность кристаллизации асфальтенов в пластовой нефтяной системе.

Соотношение «асфальтены/смолы» имеет значение порядка 0,03 (т. е. смолы преобладают над асфальтенами), что создает благоприятные условия для поддержания асфальтенов в растворенном состоянии в составе нефти. Смолы создают сольватную оболочку вокруг асфальтенов и служат переходной зоной между асфальтенами и насыщенными углеводородами. Соотношение «предельные углеводороды/ароматика» составляет 3,35, что свидетельствует о преобладании в составе нефти насыщенных углеводородов над ароматическими.

По результатам проведенного SARA-анализа, с использованием экспериментальных значений массового содержания смол, асфальтенов и ароматики, отмечено, что нефть VII-IX пачек задонского горизонта Речицкого месторождения является стабильной дисперсной системой, не склонной к выпадению асфальтенов и образованию твердой фазы в пластовых условиях.

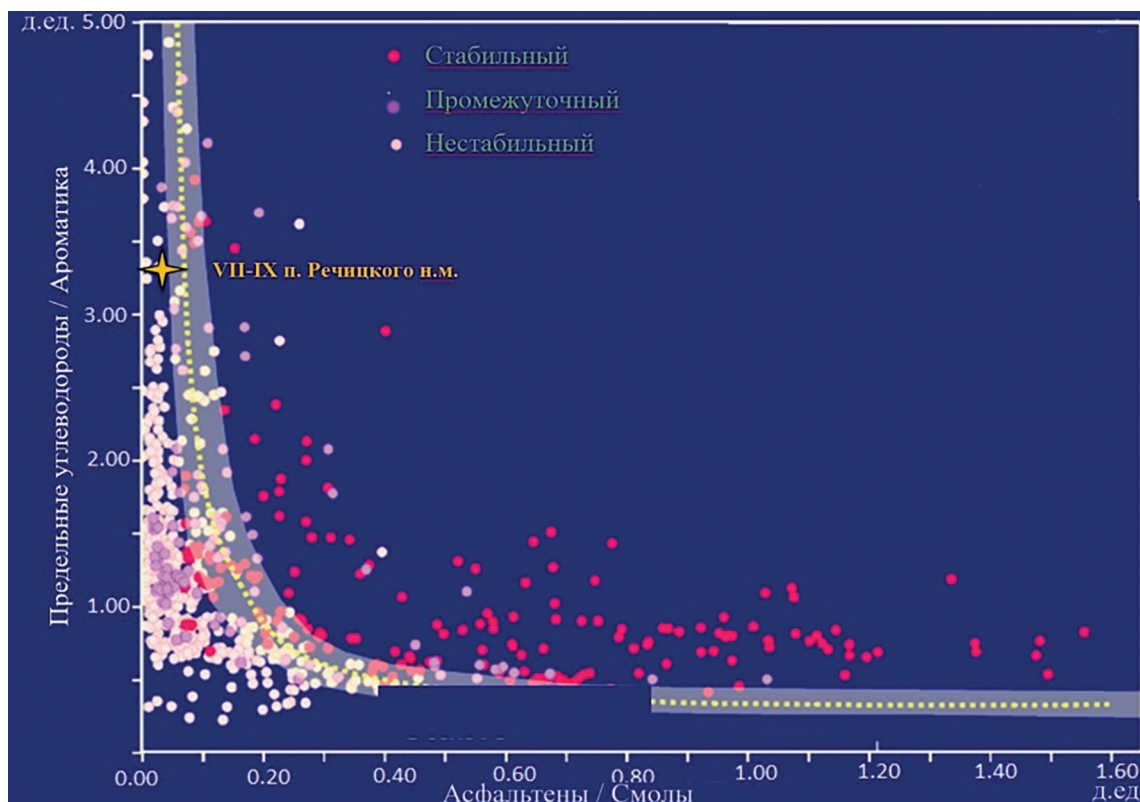


Рисунок 5 – Графическая зависимость, используемая для оценки стабильности пластовых нефтяных систем [18]

В таблице 3 представлены результаты определения физико-химических свойств дегазированной нефти, отобранной из отложений целевой залежи.

Кислотное число сырой нефти достаточно низкое, образование природных ПАВ будет играть незначительную роль в процессе химического заводнения. Вязкость сырой нефти в условиях пласта составляет около 3,4 мПа·с. В качестве руководящего принципа вязкость раствора ПАВ-полимерной композиции должна быть равна вязкости нефти или превышать ее для контроля мобильности фаз.

Анализ компонентного состава нефти показывает, что нефть из задонской залежи Речицкого месторождения относится к группе парафинистых, высокосмолистых нефтей. Нефть отличается значительным содержанием высокомолекулярных компонентов, таких как смолы и асфальтены. Часть этих компонентов может быть поверхностно-активной и, как правило, имеет тенденцию перехода к границе раздела фаз нефть – вода, оказывая тем самым негативное влияние на работоспособность ПАВ.

Поиск термосолестойких ПАВ. В ходе выполнения данного этапа было испытано 22 образца коммерчески доступных ПАВ. Установлено, что на устойчивость ПАВ сильное влияние оказывает температура и минерализация раствора – с их увеличением снижалась стабильность растворов ПАВ. В растворах практически всех исследованных об-

разцов наблюдалось образование осадка или фазовое разделение по мере увеличения температуры и содержания солей в растворе.

По результатам исследований растворимости и совместимости с закачиваемой и пластовой водами для дальнейших исследований были выбраны две марки ПАВ:

- 1) ПАВ-А – анионный ПАВ на основе эфира алкилкарбоксилата натрия;
- 2) со-ПАВ-Б – неионогенный ПАВ на основе алкилполиглюкозида.

В рамках дальнейшего тестирования указанные ПАВ исследовались в совместной композиции с целью получения стабильного раствора, обладающего низким значением межфазного натяжения (МФН) и способного к образованию с нефтью целевого объекта среднефазной микроэмульсии типа III по Винзору [20].

Совместимость с закачиваемой и пластовой водой. Исследовалась совместимость ПАВ марки А и его смесей с со-ПАВ марки Б с попутнодобываемой и закачиваемой водами из Речицкого месторождения. Эти воды представляют собой высокоминерализованные рассолы с общей минерализацией соответственно 192 и 233 г/л и плотностью 1,116 и 1,154 г/см³. Закачиваемая вода содержала значительное количество ионов железа (около 43 мг/л), что могло снизить термостабильность ПАВ-полимерного раствора.

Таблица 3 – Физико-химические свойства дегазированной нефти Речицкого месторождения задонского горизонта VII–IX пачки

Параметр	Значение	ТНПА на метод испытания
Плотность при 20оС, г/см ³	0,861	ASTM D 5002–19
Вязкость кинематическая, мм ² /с		
при 20°С	39,703	ASTM D 445–19a
при 50°С	7,976	ASTM D 445–19a
Температура застывания, оС	+10	ASTM D 5853–17a
Содержание, % масс.		
– серы	0,582	ASTM D 4294–16e1
– асфальтенов	0,38	СТП 09100.17015.089–2020, пр.К
– смол силикагелевых	11,03	СТП 09100.17015.089–2020, пр.К
– парафина	3,9	ГОСТ 11851-2018, метод А
– ароматических соединений	20,35	ГОСТ EN 12916–2017
Температура застывания парафина, °С	60	ГОСТ 11851-2018, метод Б
Фракционный состав нефти, % объемные		ГОСТ 2177-99, метод Б
Температура, °С		
Н.К.	34	
100	4,6	
120	7,3	
150	11,5	
160	13,2	
180	16,2	
190	18,0	
200	19,7	
220	22,9	
240	26,1	
260	29,6	
280	33,8	
300	37,7	
Общий выход фр. до 300 °С, % об.	37,7	
Остаток и потери, % объемн.	62,3	
Кислотное число, мгКОН/г	0,07	ASTM D664–18
Содержание воды, % масс.	80,4	ГОСТ 2477-2014
Механические примеси, % масс.	0,81	ГОСТ 6370-2018

Подготовленные растворы ПАВ выдерживали на протяжении 7 суток при комнатной температуре. Все исследованные композиции ПАВ оказались совместимы с водами месторождения без признаков несовместимости (мутность не превышала 6 ед. NTU).

Далее исследовалась совместимость ПАВ-композиции с попутно-добываемой и закачиваемой водами Речицкого месторождения при пластовой температуре 57 °С. В ходе термостатирования растворов ПАВ при пластовой температуре в течение 7 суток (табл. 4, рис. 6) все исследуемые композиции ПАВ (за исключением раствора ПАВ марки А и композиции ПАВ-А/ПАВ-Б = 5: 1) показали хорошую совместимость с попутно-добываемой и закачиваемой водами. Образец ПАВ марки А в попутно-добываемой и закачиваемой водах образовывал нестабильные растворы с сильной опалесценцией. При добавлении со-ПАВ в соотношении 5: 1 наблю-

далось фазовое разделение раствора композиции, а после встряхивания раствор становился мутным.

Таким образом, в результате эксперимента установлено, что стабильные устойчивые композиции ПАВ можно получить при соотношениях ПАВ-А/ПАВ-Б от 2: 1 до 1: 4. Данные растворы композиции ПАВ полностью совместимы с закачиваемой и попутно-добываемой водами Речицкого месторождения.

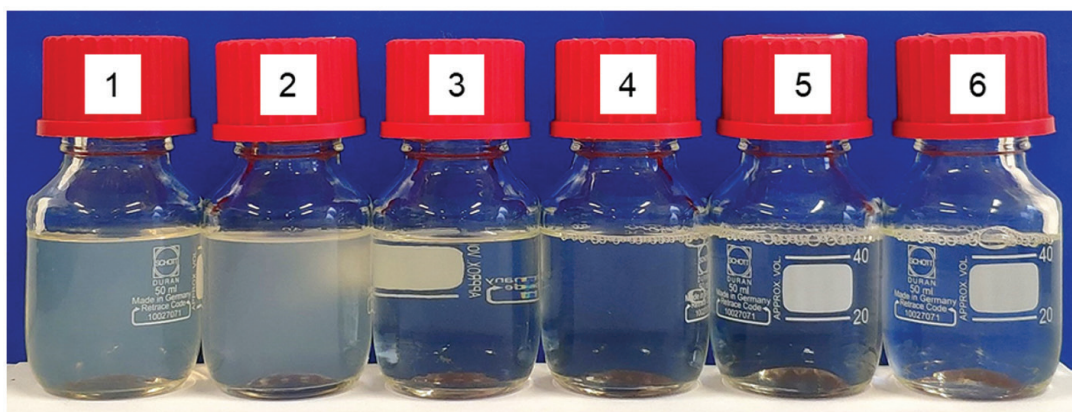
Фазовое поведение растворов ПАВ при контакте с нефтью. Выбор ПАВ для химического заводнения зависит от способности формировать устойчивую, низковязкостную микроэмульсию типа III по Винзору на границе нефть – вода, что указывает на высокую солюбилизующую активность ПАВ к нефти. Для анионных ПАВ формирование такой микроэмульсии происходит при определенных значениях минерализации, что позволяет выявить активные ПАВ и определить диапазон

оптимальной солености. Для выбора активного ПАВ и определения оптимальной солености были проведены эксперименты с растворами ПАВ и нефтью исследуемого объекта, с использованием попутно-добываемой воды без добавок нефтепро-

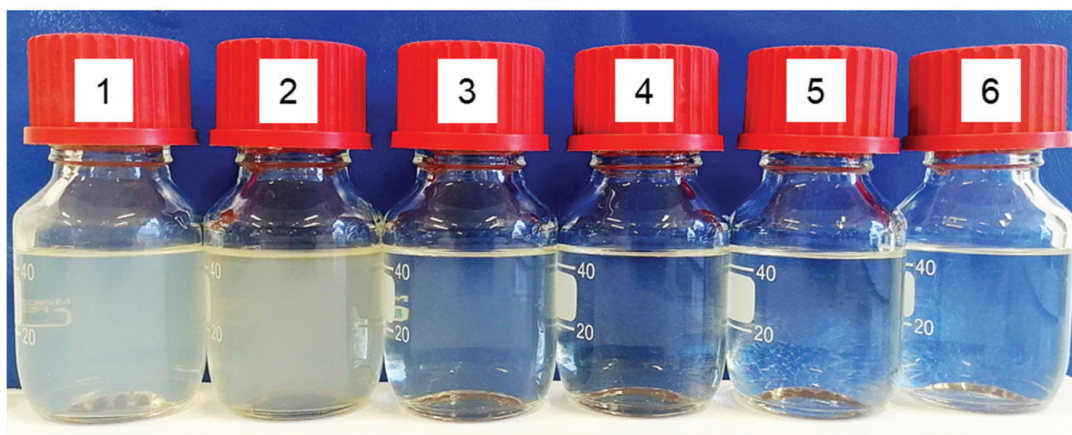
мысловых реагентов. Растворы с различной минерализацией от 0 до 200 г/л готовились путем разбавления попутно-добываемой воды. Пробы нефти подготавливались путем обезвоживания центрифугированием при нагреве.

Таблица 4 – Результаты исследований совместимости ПАВ с закачиваемой и попутно-добываемой водами Речицкого месторождения (VII–IX пакки) при пластовой температуре 57 °С

№ образца	Соотношение ПАВ/со-ПАВ	Концентрация, масс. %		Закачиваемая вода		Попутно-доб. вода	
		ПАВ-А	ПАВ-Б	Внешний вид	Мутность, ед. NTU	Внешний вид	Мутность, ед. NTU
1	–	0,5	0	сильная опалесценция	57,75	сильная опалесценция	73,85
2	5: 1	0,5	0,1	фазовое разделение, мутный	113,30	фазовое разделение, мутный	135,10
3	2: 1	0,5	0,25	прозрачный	4,39	прозрачный	7,14
4	1: 1	0,5	0,5	прозрачный	2,19	прозрачный	1,80
5	1: 2	0,5	1	прозрачный	1,41	прозрачный	0,94
6	1: 4	0,5	2	прозрачный	1,50	прозрачный	2,53



a



б

Рисунок 6 – Внешний вид растворов композиции ПАВ в закачиваемой (а) и попутно-добываемой водах (б) Речицкого месторождения после их выдержки при пластовой температуре 57 °С в течение 7 суток (нумерация образцов соответствует табл. 4)

Исследования показали, что растворы ПАВ-А не образовывали средней фазы при взаимодействии с нефтью Речицкого месторождения в исследуемом диапазоне минерализации, наблюдалась только фаза I по Винзору, что подтверждалось измерениями МФН. Оптимальная соленость для ПАВ-А, вероятно, выше минерализации попутно-добываемой воды. Поскольку синергетический эффект композиции анионных и неионогенных ПАВ увеличивает активность ПАВ на границе раздела фаз и снижает адсорбционные потери, а для высокоминерализованных вод при разработке композиции ПАВ важен подбор оптимальной рецептуры, для ионного состава и минерализации пластовой воды, исследовалось фазовое поведение композиции ПАВ на основе смеси анионного ПАВ-А и неионогенного со-ПАВ-Б.

В данном эксперименте минерализация раствора оставалась постоянной, изменялось только соот-

ношение ПАВ/со-ПАВ. Для этого растворы композиции ПАВ готовили в попутно-добываемой воде при соотношениях ПАВ/со-ПАВ от 5: 1 до 1: 4 при фиксированной концентрации ПАВ-А, равной 0,5 масс. %. Результаты испытаний представлены в таблице 5.

По результатам сканирования фазового поведения в заданных интервалах соотношений ПАВ/со-ПАВ наибольшую активность продемонстрировали два образца композиции ПАВ-А + ПАВ-Б с соотношениями 2,25: 1 и 2: 1, которые с нефтью Речицкого месторождения образовывали устойчивые среднефазные микроэмульсии типа III по Винзору. При дальнейшем увеличении концентрации со-ПАВ (соотношения от 1: 4 до 1,5: 1) композиция ПАВ становилась гидрофильной и с нефтью целевого объекта образовывала фазу I по Винзору.

Таблица 5 – Результаты исследования фазового поведения растворов композиции ПАВ на основе смесей ПАВ-А + ПАВ-Б в контакте с нефтью Речицкого месторождения

Соотношение ПАВ/со-ПАВ	Тип системы по Винзору в ходе термостатирования при 57 °C в течение, сут							Стабильность раствора ПАВ при 57 °C	
	0	1	3	5	7	10	14	Внешний вид раствора	Мутность, ед. NTU
без со-ПАВ	I	I	I	II	II	II	II	сильн. опал.	84,32
5: 1	I	I	I	II	II	II	II	фаз. разд., мут.	117,90
4: 1	I	I	I	II	II	II	II	фаз. разд., мут.	98,42
3,5: 1	I	I	I	II	II	II	II	фаз. разд., опал.	66,41
3: 1	I	I	I	II	II	II	II	фаз. разд., опал.	24,93
2,5: 1	I	I	I	II	II	II	II	фаз. разд., опал.	23,56
2,25: 1	I	III	III	III	III	III	III	прозрачный	14,10
2: 1	I	III	III	III	III	III	III	прозрачный	8,29
1,5: 1	I	III	III	I	I	I	I	прозрачный	3,70
1: 1	I	I	I	I	I	I	I	прозрачный	2,08
1: 2	I	I	I	I	I	I	I	прозрачный	1,06
1: 4	I	I	I	I	I	I	I	прозрачный	1,54

Измерение межфазного натяжения растворов ПАВ. Измерения МФН на границе раздела раствор ПАВ – нефть проводились по методу «Вращающаяся капля». Предварительно с помощью автоматического плотномера определяли плотность исследуемых растворов ПАВ и обезвоженной нефти при пластовой температуре 57 °C.

Сравнительные испытания выполнялись для перспективных образцов композиции ПАВ-А + ПАВ-Б при значениях соотношения ПАВ/со-ПАВ, отвечающих фазовому переходу тип I – тип III – тип II по Винзору. На этом этапе измерялись МФН для фиксированной концентрации анионного ПАВ-А, изменяли концентрацию со-ПАВ. Для этого готовились 0,5 масс. % растворы ПАВ-А в попутно-

добываемой воде с различными добавками ПАВ-Б для создания растворов композиции с заданным соотношением ПАВ/со-ПАВ.

Далее проводились измерения МФН на тензиометре для приготовленных растворов композиции ПАВ. На рисунке 7 приведена зависимость значений МФН растворов композиции ПАВ от концентрации со-ПАВ. Образцы композиции ПАВ-А + ПАВ-Б с соотношениями 2,25: 1 и 2: 1 имели низкое значение МФН (порядка $5 \cdot 10^{-2}$ мН/м).

По совокупности ряда показателей (низкое МФН, высокая стабильность раствора при пластовой температуре) для дальнейших испытаний был выбран образец композиции ПАВ-А + ПАВ-Б с соотношением 2: 1.

На следующем этапе эксперимента оптимизировали концентрацию ПАВ/со-ПАВ по критерию максимального снижения МФН на границе водного раствора композиции ПАВ и нефти. С этой целью исследовали растворы композиции ПАВ-А + ПАВ-Б с различной концентрацией активного ве-

щества (0; 0,15; 0,3; 0,45; 0,6; 0,75 и 0,9 масс. %) при заданном соотношении ПАВ/со-ПАВ = 2: 1.

На основании полученных результатов измерений была построена изотерма МФН, которая представлена на рисунке 8.

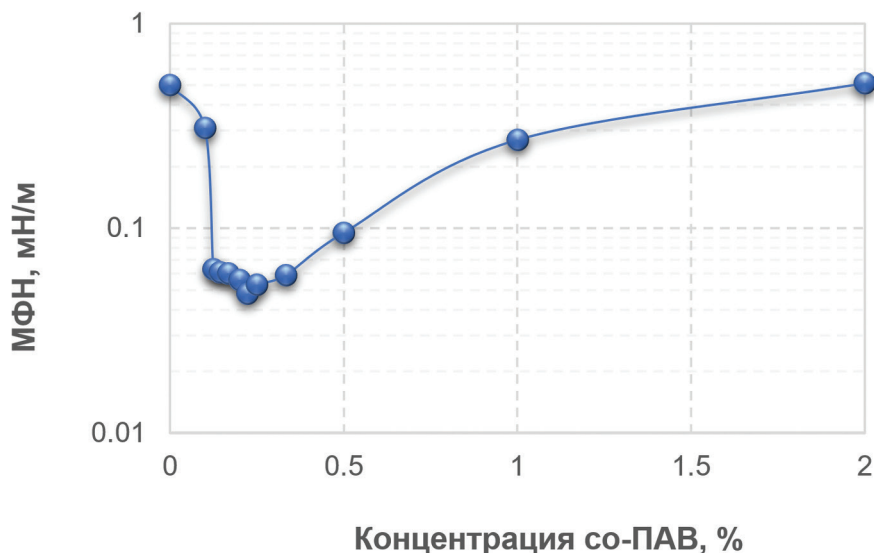


Рисунок 7 – Зависимость МФН растворов композиции ПАВ на основе ПАВ-А (0,5 масс. %) и ПАВ-Б от концентрации со-ПАВ

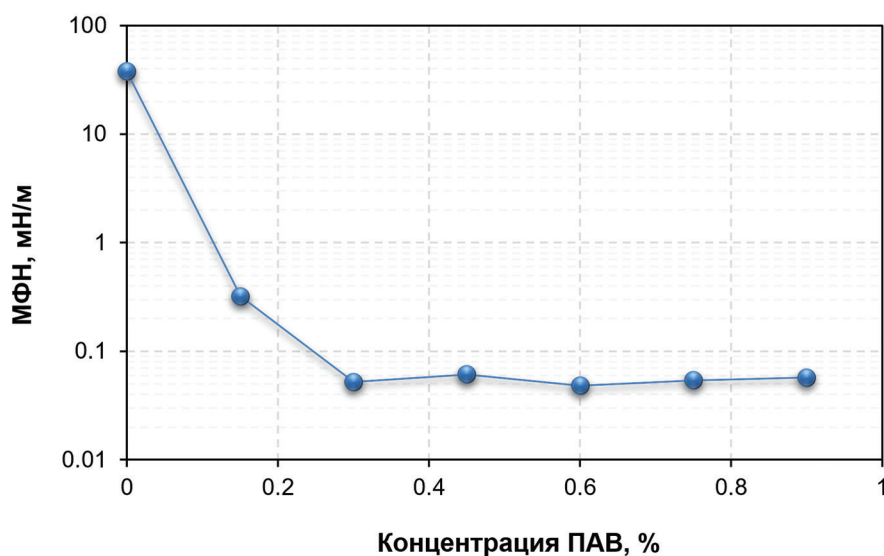


Рисунок 8 – Изотерма МФН растворов композиции ПАВ на основе смеси ПАВ-А + ПАВ-Б (2: 1) в попутно-добываемой воде при пластовой температуре 57 °С на границе с сырой нефтью целевого объекта

Результаты эксперимента показали, что наименьшее значение МФН ($4,8 \cdot 10^{-2}$ мН/м) достигается в случае раствора ПАВ с суммарной концентрацией 0,6 масс. % (по активному веществу). При этом МФН на границе раздела фаз нефть – вода снизилось в более чем 800 раз по сравнению с попутно-добываемой водой.

Статическая адсорбция ПАВ. Изучение адсорбции ПАВ в статических условиях заключалось

в определении количества адсорбированного ПАВ на поверхности дезинтегрированной карбонатной породы исследуемого месторождения при достижении адсорбционного равновесия. Предварительно образец карбонатной породы размалывался, экстрагировался с использованием растворителей и просеивался на ситах с размерами отверстий 0,25–0,5 мм. Полученная фракция породы тщательно промывалась водой до стекания прозрачного раствора и вы-

сушивалась. Готовилась серия растворов ПАВ-композиции с шестью различными концентрациями (0,15; 0,3; 0,45; 0,6; 0,75 и 0,9 масс. % по активному веществу) в попутно-добываемой воде Речицкого месторождения. Выбранный диапазон концентраций обусловлен областью применения ПАВ в ХМУН.

Для определения адсорбции ПАВ взвешивали навески молотой породы 10 г и помещали в стеклянные баночки с герметичными крышками, в которые затем приливали по 30 г испытуемых растворов ПАВ. Соотношение массы раствора

ПАВ к массе ядерного материала составляло 3: 1. Для достижения адсорбционного равновесия банки с раствором ПАВ и породой встряхивали и выдерживали в течение 2 суток в суховоздушном термостате при температуре 57 °С.

Затем растворы декантировались и центрифугировались. Методом двухфазного титрования определялась исходная и остаточная концентрация ПАВ в растворе после контакта с породой.

По полученным данным в исследованном диапазоне концентраций ПАВ строили кривую адсорбции вида $\Gamma = f(C_{\text{ПАВ}})$ (рис. 9).

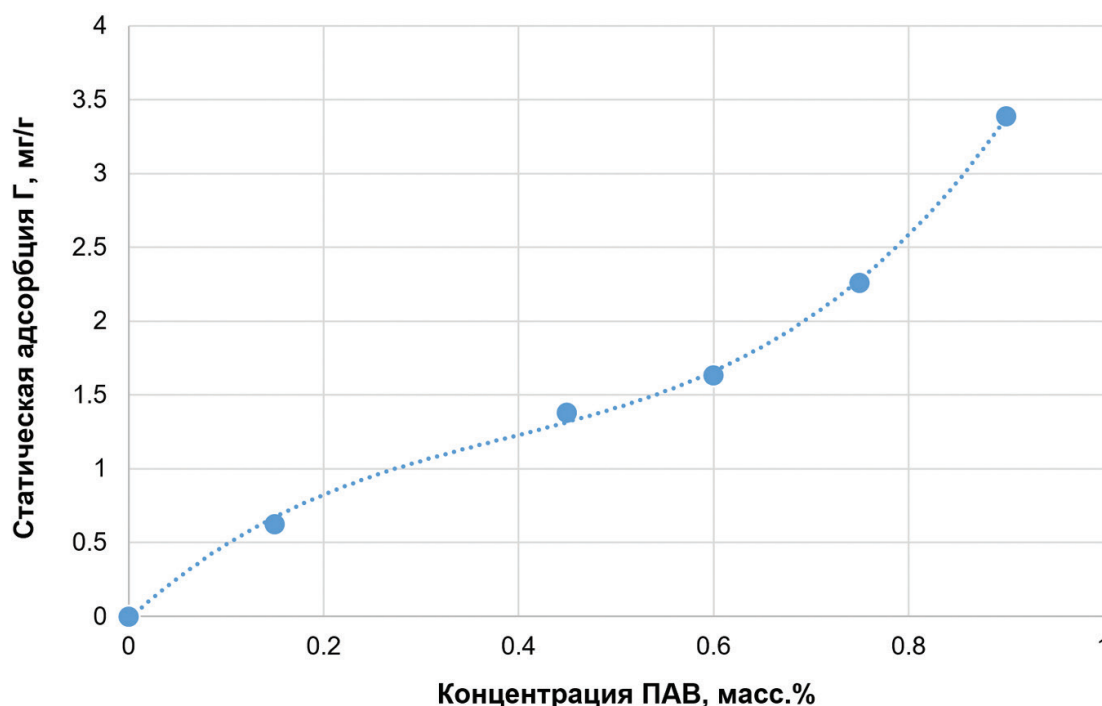


Рисунок 9 – Изотерма статической адсорбции ПАВ-композиции ПАВ-А + ПАВ-Б на поверхности молотой породы задонской залежи (VII–IX пачки) Речицкого месторождения

Проведенные исследования показали, что адсорбция ПАВ на породе целевого объекта относительно невысокая. Величина статической адсорбции для подобранной концентрации ПАВ (0,6 масс. %) составила 1,63 мг/г породы. При этом максимальное значение статической адсорбции смеси ПАВ в диапазоне рассматриваемых концентраций не превышало 3,39 мг/г породы. Согласно общепринятым представлениям, которые подтверждены результатами многочисленных исследований [21–23], динамическая адсорбция ПАВ, как правило, в несколько раз ниже значения, полученного в статических условиях.

Таким образом, оптимальная рецептура композиции ПАВ, подходящая для эффективного ПАВ-полимерного заводнения в условиях целевого объекта, должна содержать в своем составе смесь анионного ПАВ-А (0,4 масс. %) и неионогенного

со-ПАВ-Б (0,2 масс. %), приготовленную на основе попутно-добываемой воды Речицкого месторождения с общей минерализацией порядка 233 г/л (плотностью 1,154 г/см³).

Лабораторные исследования полимеров. На основании информации о геолого-физических условиях задонской залежи (VII–IX пачки) Речицкого месторождения (пластовая температура – 57 °С, высокая минерализация попутно-добываемой воды с большим содержанием солей кальция и магния, низкая пористость и проницаемость пород-коллектора – соответственно 10,9 % и 0,03 мкм²) для проведения лабораторных исследований были выбраны 4 марки полимеров. Как видно из таблицы 6, выбранные марки полимеров имели среднюю молекулярную массу (5,5–10 млн дальтон), но отличались по химическому составу.

Таблица 6 – Структурные и физико-химические показатели образцов полимеров (по данным производителя)

№	Марка ПАА*	Химический состав	MW, 10 ⁶ Да	Анионность, мол. %	
				по карбоксилатным группам	по сульфогруппам
1	А	сополимер акриламида и акрилата натрия	5,5–8,5	13–18	–
2	Б	терсополимер акриламида, акрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия	6–9,5	20–23	5
3	В	терсополимер акриламида, акрилата натрия и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия	6,5–10	10–13	15
4	Г	сополимер акриламида и 2-акриламидо-2-метилпропансульфоната натрия	7–10	–	25–30

* – полиакриламид

Для выбора оптимального полимера и обоснования его применения в условиях целевого объекта проведены лабораторные исследования, в которых определялись:

- солестойкость полимеров в минерализованной попутно-добываемой воде;
- термическая устойчивость при пластовой температуре (57 °С);
- устойчивость к механической деструкции;
- статическая адсорбция на натуральной породе;
- реологические исследования растворов полимеров от скорости сдвига, температуры и концентрации.

По каждому из исследованных параметров проводилось ранжирование полимеров и рассчитывался итоговый балл. При этом наибольший ранг (равный 1,0) получал полимер с наилучшим значением исследуемого параметра, остальные образцы полимеров ранжировали пропорционально относительно лучшего показателя. На основании итогового балла выбиралась наиболее подходящая марка полимера для применения в составе ПАВ-полимерной композиции.

Солестойкость полимеров в попутно-добываемой воде. Солестойкость полимеров определялась в стандартных условиях при комнатной температуре. Концентрация полимера в растворе составляла 2000 ppm (0,2 %). В качестве испытуемой воды использовалось попутно-добываемая вода из скважины Речицкого месторождения.

Приготовление растворов полимера выполнялось в соответствии с рекомендациями API RP 63. Исследованные полимеры относительно быстро растворялись в попутно-добываемой воде плотностью 1,154 г/см³ (не более 2 ч). Полученные полимерные растворы были прозрачными и однородными.

Солестойкость оценивали по изменению вязкости раствора. Эффективную вязкость растворов измеряли при скорости сдвига 10 с⁻¹ с помощью реометра. Растворы всех марок полимеров не теряли вязкость на протяжении всего эксперимента. Та-

ким образом, выбранные полимеры имеют высокую устойчивость в минерализованной попутно-добываемой воде с большим содержанием солей кальция и магния.

Термическая устойчивость полимеров при пластовой температуре. Для оценки термостабильности выбранных ПАА готовились полимерные растворы (0,2 %) в попутно-добываемой воде. Приготовленные полимерные растворы помещались в герметичные бутылочки из термостойкого боросиликатного стекла, внутри которых создавались анаэробные условия, и выдерживались в термощкафу при пластовой температуре 57 °С. Динамику термической устойчивости оценивали по изменению вязкости раствора через 5, 10, 20 и 30 суток относительно исходного раствора. Эффективную вязкость растворов измеряли при скорости сдвига 10 с⁻¹ с помощью реометра.

Результаты испытаний показали, что растворы выбранных полимеров не теряют вязкость в ходе термостатирования при пластовой температуре 57 °С в течение 30 суток. Таким образом, исследуемые полимеры характеризуются высокой термической устойчивостью при пластовой температуре целевого объекта.

Устойчивость к механической деструкции. Оценка механической деструкции полимера в растворе выполнялась по следующей методике. Готовили водные растворы полимеров (0,2 %) в попутно-добываемой воде. Свежеприготовленные образцы полимерных растворов перемешивались с помощью лопастной мешалки, имитируя сдвиговые нагрузки при прохождении раствора сквозь перфорационные отверстия и фильтрации по поровым каналам нефтяного пласта. Деструктированные образцы стабилизировали при комнатной температуре в течение 30 мин и измеряли их вязкость при скорости сдвига 10 с⁻¹ с помощью реометра. Коэффициент стойкости к механической деструкции оценивался по отношению вязкости деструктированного раствора к вязкости исходного образца. Результаты исследований представлены в таблице 7.

Из таблицы 7 видно, что наибольшей стойкостью к механической деструкции (0,55 д. ед.) обладал ПАА марки Б, наименьшей (0,32 д. ед.) – ПАА марки Г.

Статическая адсорбция полимеров. Испытания проводились на основании стандарта API RP 63. По тому же принципу, что и при исследовании адсор-

бции ПАВ. Результаты исследований статической адсорбции полимеров представлены в таблице 8.

Как видно из таблицы 8, наименьшей величиной адсорбции характеризовался сульфонируемый сополимер Г, которая составила порядка 203,13 мкг/г породы.

Таблица 7 – Результаты исследования механической деструкции растворов ПАА в попутно-добываемой воде

Марка ПАА	Вязкость раствора при 10 с^{-1} , мПа·с		Коэффициент мех. деструкции (КД), д. ед.	Ранг (КД/КД _{max}), д. ед.
	до	после		
А	9,74	4,62	0,47	0,86
Б	7,40	4,08	0,55	1,00
В	12,53	4,96	0,40	0,72
Г	14,03	4,51	0,32	0,58

Таблица 8 – Статическая адсорбция полимеров на поверхности молотой породы задонской залежи (VII–IX пакки) Речицкого месторождения

Марка ПАА	Концентрация ПАА в растворе, ppm		Адсорбция, мкг/г породы		Ранг (Γ_{\min}/Γ), д. ед.
	исходный	конечный	повторы	среднее	
А	2092	1961	390,59	321,28	0,63
		2008	251,97		
Б	2071	1928	428,91	363,97	0,56
		1971	299,02		
В	1976	1890	259,56	276,77	0,73
		1878	293,98		
Г	1892	1813	235,77	203,13	1,00
		1835	170,48		

Реологические исследования полимерных растворов. Исследования проводились при концентрации полимера 500, 1000, 1500, 2000 и 2500 ppm. Полимерные растворы готовились в попутно-добываемой воде из скважины Речицкого месторождения. Измерения выполнялись при температурах 25 и 57 °С, соответствующим устьевой и пластовой температурам.

Образцы растворов помещали в измерительную ячейку реометра, нагревали до заданной температуры и измеряли эффективную вязкость при скоростях сдвига от 0,1 до 100 с^{-1} . По полученным данным строились зависимости эффективной вязкости раствора от скорости сдвига и концентрации полимера. Для выбора оптимальной концентрации полимера использовались значения вязкости раствора при скорости сдвига 10 с^{-1} , которая соответствует сдвиговым нагрузкам при фильтрации раствора полимера в пласте со скоростью 0,3–0,5 м/сут.

Зависимости эффективной вязкости полимерных растворов от концентрации полимера при различных температурах показаны на рисунке 10. Реологические кривые растворов исследуемых полимеров характеризуются неньютоновским поведением, эти растворы обладают псевдопластичностью.

Реологическое поведение растворов в значительной степени зависит от концентрации полимера. Увеличение концентрации полимера значительно повышало вязкость растворов.

Как видно на рисунке 10, с увеличением температуры вязкость полимерных растворов снижается.

На задонской залежи (VII–IX пакки) Речицкого месторождения вязкость нефти в пластовых условиях составляет 3,4 мПа·с. Исходя из этого, были рассчитаны базовые концентрации выбранных полимеров в составе ПАВ-полимерной композиции (табл. 9).

Из таблицы 9 видно, для приготовления раствора ПАВ-полимерной композиции с заданной целевой вязкостью наименьшая потребность полимера нужна для реагента Г. Так, минимально рекомендуемая концентрация данного полимера в базовом варианте ПАВ-полимерной композиции должна составлять порядка 963 ppm.

Анализ результатов и обоснование выбора полимера. Значения рангов по каждому исследованному показателю перемножали, в результате чего получали итоговый балл для всех исследованных полимеров. Результаты ранжирования систематизированы в таблице 10.

Из таблицы 10 видно, что наибольший итоговый балл получил ПАА марки Г. Данный полимер имел высокие значения по четырем из пяти тестируемых

параметров и уступал другим маркам полимеров только по показателю устойчивости к механической деструкции.

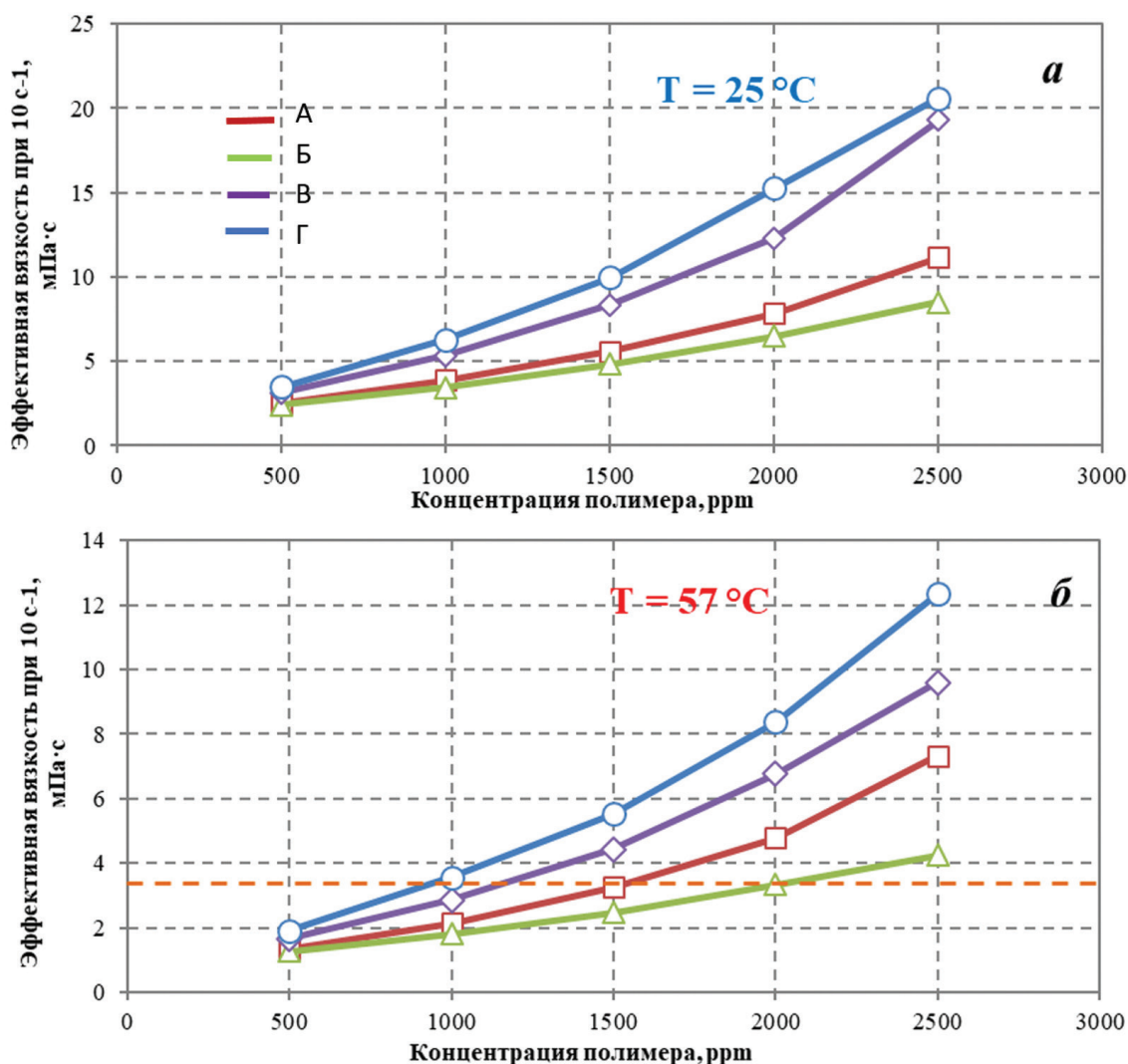


Рисунок 10 – Зависимости эффективной вязкости растворов от концентрации полимера при температурах: а – 25 °С; б – 57 °С

Таблица 9 – Выбор базовой концентрации полимера для условий задонской залежи (VII–IX пакки) Речицкого месторождения и ранжирование полимеров по их загущающей способности

Параметр		Ед. изм.	Значение
Вязкость нефти в пластовых условиях		мПа·с	3,4
Концентрация полимера, отвечающая вязкости пластовой нефти:			
	– А	ppm	1568
	– Б	ppm	2040
	– В	ppm	1190
	– Г	ppm	963
Ранг (C_{\min}/C):			
	– А	д. ед.	0,61
	– Б	д. ед.	0,47
	– В	д. ед.	0,81
	– Г	д. ед.	1,00

Таблица 10 – Расчет итогового балла по результатам ранжирования технических показателей полимеров

Показатель	Значение ранга для марки ПАА			
	А	Б	В	Г
Солестойкость	0,94	0,99	1,00	0,94
Термостойкость	1,00	0,98	1,00	0,98
Механическая деструкция	0,86	1,00	0,72	0,58
Статическая адсорбция	0,63	0,56	0,73	1,00
Загущающая способность	0,61	0,47	0,81	1,00
ИТОГО	0,31	0,26	0,43	0,54

Таким образом, по комплексу показателей наиболее подходящим для эффективного применения в геолого-физических условиях целевого объекта является ПАА марки Г. Минимально рекомендуемая концентрация данного полимера в базовом варианте ПАВ-полимерной композиции должна составлять порядка 1000 ppm (0,1 %).

По результатам проведенных скрининговых исследований была разработана и рекомендована для фильтрационных экспериментов ПАВ-полимерная композиция следующего состава:

- ПАВ марки А – 0,4 масс. %;
- со-ПАВ марки Б – 0,2 масс. %;
- ПАА марки Г – 0,1 %;
- вода затворения – минерализованная подтоварная (плотностью 1,154 г/см³).

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАВ-ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА КЕРНОВЫХ МОДЕЛЯХ ВЫБРАННЫХ ОБЪЕКТОВ

Для определения эффективности применения ПАВ-полимерной композиции был выполнен ряд фильтрационных исследований с использованием натурального кернового материала.

Для проведения исследований использовались образцы керна с ненарушенной структурой емкостного пространства, выпиленные параллельно напластования, диаметром 30 мм. Составные линейные модели пласта состояли из 4 образцов суммарной длиной порядка 150 мм. В пределах составной модели изменение проницаемости отдельных элементов (цилиндрических образцов) не превышало 50 % от среднего значения.

Первые три эксперимента выполнялись для первичной оценки максимальной эффективности ПАВ-полимерного раствора с различной концентрацией полимера, предложенной по результатам лабораторных исследований в статических условиях, и включали длительную и неограниченную закачку ПАВ-полимерной композиции после заводнения до полного отсутствия выхода нефти и стабилизации дифференциального давления. По-

сле получения положительного эффекта от длительной закачки раствора ПАВ-полимерной композиции (эксперимент 1) далее для выбора технологии были проведены два вытеснения с ограниченными по размеру оторочками 0,3, 0,5 поровых объемов $V_{пор}$ ПАВ-полимерной композиции и 0,7, 0,5 $V_{пор}$ раствора полимера. Целью данных экспериментов являлась оценка эффективности вытеснения нефти с ограниченным количеством химических реагентов и определение оптимальных объемов закачки для обеспечения определенного прироста коэффициента вытеснения. По результатам последующего эксперимента была построена кривая капиллярного вытеснения.

Финальный эксперимент проводился с целью верификации полученных результатов при использовании выбранной схемы реализации и ПАВ-полимерной композиции.

Эксперименты №№ 1–3. В ходе первых трех экспериментов в начале производилась закачка воды с объемной скоростью 0,02 см³/мин до стабилизации фильтрационных процессов. Далее в модель пласта закачивалась ПАВ-полимерная композиция с различной концентрацией полимера для каждого из экспериментов (полимер – 0,1; 0,15; 0,2 %, ПАВ-А – 0,4 %, со-ПАВ-Б – 0,2 %, вода затворения – мин. вода $\rho = 1,159$ г/см³) при различных скоростях фильтрации. На рисунке 11 приведены изменения нефтенасыщенности, коэффициента вытеснения нефти и перепада давления в экспериментах №№ 1–3.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что прирост коэффициента вытеснения нефти был сопоставим и составил 34–37 %, однако при повышении концентрации полимера до 0,15–0,2 % значительно увеличивался градиент давления.

В процессе наблюдения за ходом эксперимента отмечено, что после прокачки 0,4 $V_{пор}$ с момента начала химического заводнения наблюдалось развитие нефтяного вала, что выражалось в увеличении объема вытесненной нефти и отмечалось присутствие в пробах эмульсионной фазы, что свидетельствует о выходе ПАВ из модели пласта.

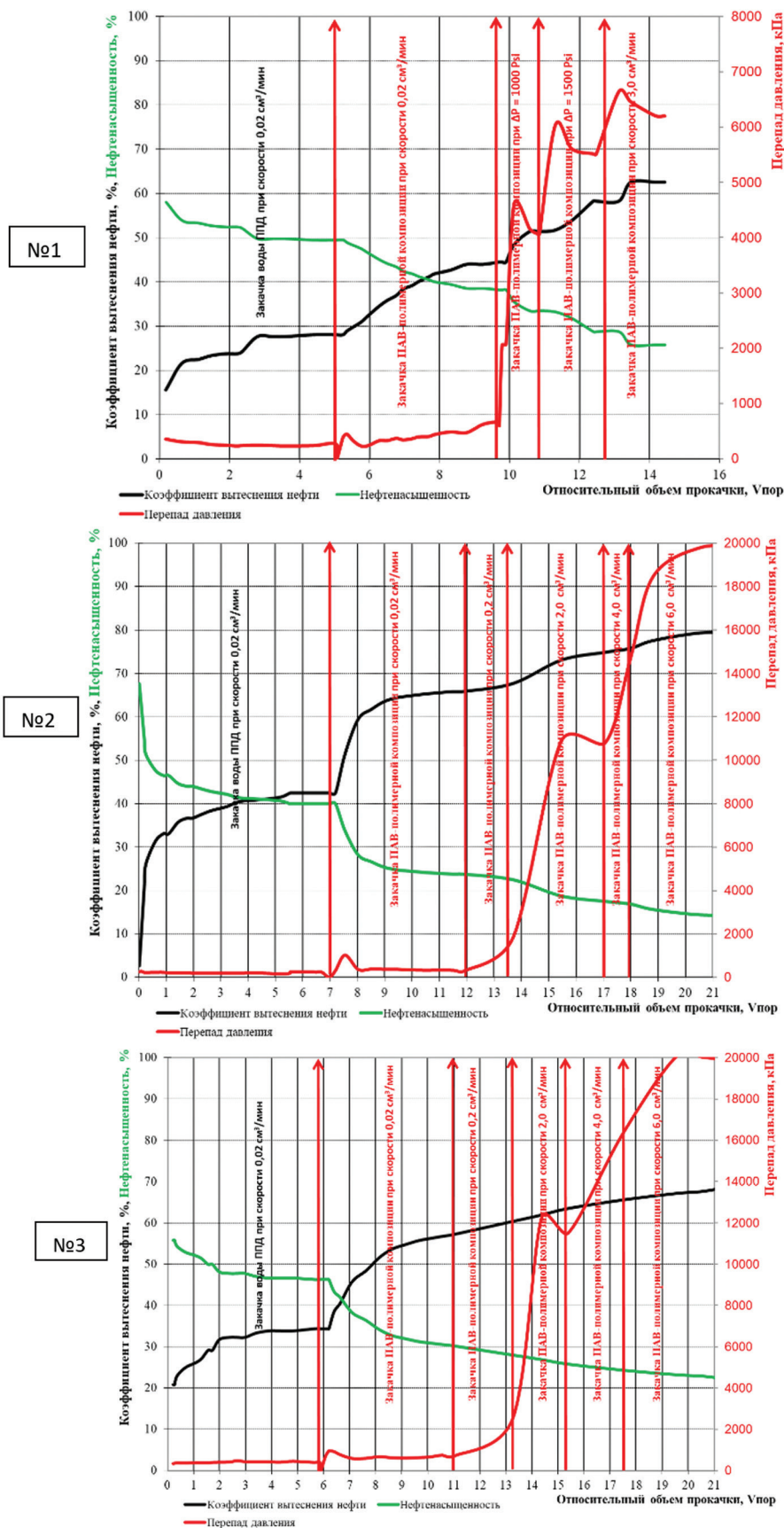


Рисунок 11 – Динамика изменения нефтенасыщенности, коэффициента вытеснения нефти и перепада давления в экспериментах №№ 1–3

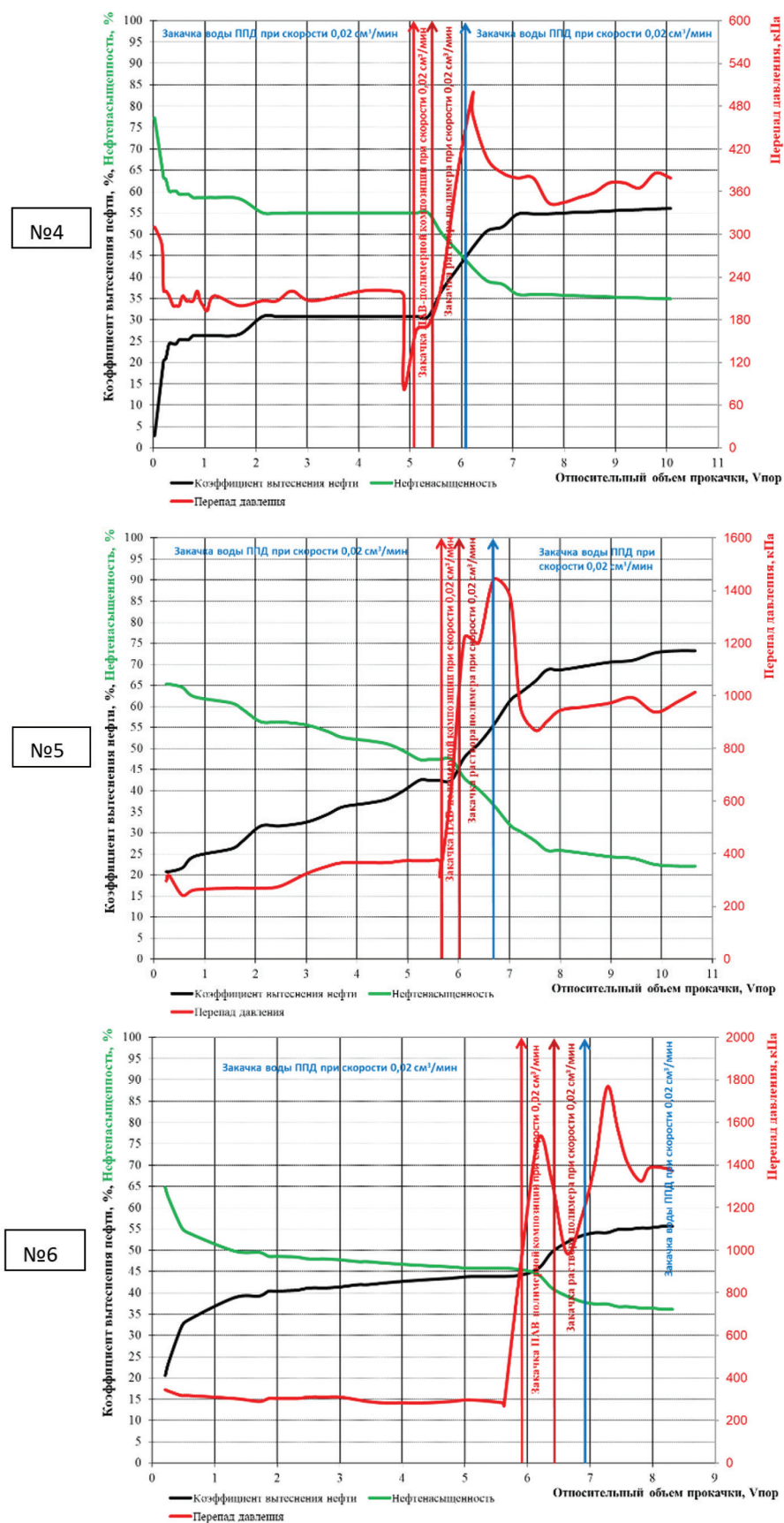


Рисунок 12 – Динамика изменения нефтенасыщенности, коэффициента вытеснения нефти и перепада давления в экспериментах №№ 4–6

Эксперыменты №№ 4–6. При проведении экспериментов №№ 4–6 в начале производилась закачка воды с объемной скоростью $0,02 \text{ см}^3/\text{мин}$ до стабилизации фильтрационных процессов. Далее в модель пласта закачивалась ПАВ-полимерная композиция по следующей схеме:

эксперимент № 4: полимер – 0,15 %, ПАВ-А – 0,4 %, со-ПАВ-Б – 0,2 %, вода затворения – мин. вода $\rho = 1,159 \text{ г/см}^3$ в объеме 0,5 $V_{\text{пор}}$ и 0,15 %-ный раствор полимера в объеме 0,5 $V_{\text{пор}}$ при объемной скорости $0,02 \text{ см}^3/\text{мин}$. Далее происходила закачка воды;

эксперимент № 5: полимер – 0,15 %, ПАВ-А – 0,4 %, со-ПАВ-Б – 0,2 %, вода затворения – мин. вода $\rho = 1,159 \text{ г/см}^3$ в объеме 0,3 $V_{\text{пор}}$ и 0,15 %-ный раствор полимера в объеме 0,7 $V_{\text{пор}}$ при объемной скорости $0,02 \text{ см}^3/\text{мин}$. Далее происходила закачка воды;

эксперимент № 6: полимер – 0,15 %, ПАВ-А – 0,4 %, со-ПАВ-Б – 0,2 %, вода затворения – мин. вода $\rho = 1,159 \text{ г/см}^3$ в объеме 0,3 $V_{\text{пор}}$ и 0,15 %-ный раствор полимера в объеме 0,7 $V_{\text{пор}}$ при объемной скорости $0,02 \text{ см}^3/\text{мин}$. Далее происходила закачка воды. Целью эксперимента № 6 было определение относительных фазовых проницаемостей в системе порода – нефть – вода.

В результате проведения экспериментов было установлено, что при проведении закачки по схеме эксперимента № 4 прирост коэффициента вытеснения нефти составил 10,3 %, а по схеме эксперимента № 5–19 %. Таким образом, для проведения дальнейших исследований была выбрана схема экспериментов № 5. В процессе наблюдения за ходом эксперимента отмечено, что после прокачки 0,3 $V_{\text{пор}}$ с момента начала химического заводнения наблюдалось развитие нефтяного вала, что выражалось в увеличении объема вытесненной нефти и отмечалось присутствие в пробах эмульсионной фазы, что свидетельствует о выходе ПАВ из модели пласта.

Для верификации полученных результатов проведен эксперимент № 6, который подтвердил результаты предыдущего исследования. Прирост коэффициента вытеснения нефти составил 20 % при градиенте давления $1,45 \text{ МПа/м}$.

На рисунке 12 приведены изменения нефтенасыщенности, коэффициента вытеснения нефти и перепада давления в экспериментах №№ 4–6.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые разработана и применена методика обоснования объектов для ПАВ-полимерного заводнения в условиях Припятского прогиба.

По результатам анализа зарубежного опыта и опыта химических методов увеличения нефтеотдачи на нефтяных залежах белорусских месторождений сформированы критерии выбора потенциальных объектов для ПАВ-полимерного заводнения.

Разработана методика оперативного проведения ранжирования объектов по геологическим и промысловым параметрам. Выбраны участки для проведения опытно-промысловых работ.

Разработана оптимальная ПАВ-полимерная композиция для условий выбранного объекта, которая характеризуется высокой термической устойчивостью и приемлемой степенью адсорбции хире-агентов в условиях карбонатного пласта.

При взаимодействии с нефтью задонской залежи (VII–IX пачки) Речицкого месторождения раствор ПАВ-композиции имеет низкое значение межфазного натяжения (МФН) ($4,8 \cdot 10^{-2} \text{ мН/м}$) и образует достаточно устойчивые среднефазные микроэмульсии.

В качестве полимерной оторочки предложено использовать раствор полимера марки Г (сополимер акриламида и 2-акриламида-2-метилпропансульфоната натрия) в минерализованной подтоварной воде. Марка полимера выбрана на основании результатов ранжирования по комплексу показателей.

Фильтрационные эксперименты на керновых моделях пласта подтвердили эффективность разработанной ПАВ-полимерной композиции. Прирост коэффициента вытеснения нефти составил порядка 20 %. Проведение экспериментов позволило выбрать оптимальную схему закачки ПАВ-полимерной композиции для проведения расчетов на гидродинамической модели и последующих опытно-промысловых работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **McGlade, C.** Whatever happened to enhanced oil recovery? IEA [Электронный ресурс] / С. McGlade, G. Sondak, M. Han. – Режим доступа: <https://www.iea.org/commentaries/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery>. – Дата доступа: 01.12.2023.
2. **Guo, H.** 2018 EOR Survey in China-part 1 / Guo H., Dong J. // SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, Oklahoma, USA, 14–18 April 2018. SPE-190286-MS.
3. **Волокитин, Я. Е.** Методы увеличения нефтеотдачи и технология АСП / Я. Е. Волокитин, М. Ю. Шустер, В.М. Карпан // Rogtec. – 2015 – № 1. – С. 24–35.

4. **Al-Murayri, M. T.** SP Flooding Chemical-Formulation Design and Evaluation for Raudhatain Lower Bur-
gan reservoir / M. T. Al-Murayri, A. Hassan // Kuwait. SPE Midle East Oil&Gas Show and Conference, Manama,
Kingdom of Bahrain, 6–9 March 2017 SPE-183933.
5. **Leon, J. M.** A Successful Polymer Flooding Pilot at Palogrande-Cebu A Low Permeability Reservoir in the
Upper Magdalena Valley, Colombia / J. M. Leon, A. F. Castilio // SPE Improved Oil Recovery Conference held in
Tulsa, Oklahoma, USA, 14–18 April 2018. SPE-190165-MS.
6. **Maya, G.** Design and implementation of the first polymer flooding project in Colombia: Yarigui-Cantagallo
field / G. Maya, R. Jimenez // SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Quin-
to, Ecuador, 18–20 November 2015. SPE-177245-MS.
7. **Puskas, S.** First Surfactant-Polymer EOR Injectivity Test in the Algyó Field, Hungary / S. Puskas, Á. Vágó // IOR
NORWAY 2017 – 19th European Symposium on Improved Oil Recovery 24–27 April 2017, Stavanger, Nor-
way. SPE-190369-MS.
8. **G. Moritis.** SPECIAL REPORT: More US EOR projects start but EOR production continues decline / G.
Moritis // Oil&Gas journal. – 2008. – Vol. 106.15. – С. 41–59.
9. **Геология** Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
10. **Современные** подходы в планировании разработки новых технологий повышения нефтеотдачи
трудноизвлекаемых запасов нефти / П. П. Повжик [и др.] // Оборудование и технологии для нефтегазового
комплекса. – 2022. – № 2 (128). – С. 57–65.
11. **Чекан, А. О.** Перспективы применения ПАВ-полимерного заводнения на нефтяных залежах
Припятского прогиба / А. О. Чекан, Н. А. Демяненко // Поиски и освоение нефтяных ресурсов Республики
Беларусь : сб. науч. тр. : в 2 т. – Т. 1. – Вып. 10. – Минск : Четыре четверти, 2022. – С. 225–232.
12. **Taber, J. J.** EOR Screening criteria revisited-part1: Introduction to Screening Criteria and Enhanced Re-
covery Field Projects / J. J. Taber // SPE/DOE IOR Symposium in Tulsa, Ok-lahoma, 21–24 April 1997. SPE 35385.
13. **Chauhan, P. D.** Data analysis and summary for surfactant-polymer flooding based on oil field projects and
laboratory data / P. D. Chauhan. – Missouri university of science and technology, 2014. – P. 103.
14. **Al-Bahar, M. A.** Evaluation of IOR Potential within Kuwait / M. A. Al-Bahar // The 11th Abu Dhabi intern-
national Petroleum Exhibition and Conference held in Abu Dhabi, 10–13 October 2004. SPE 88716.
15. **Чекан, А. О.** Результаты и перспективы применения химического заводнения в условиях Припяти-
ского прогиба / А. О. Чекан, Н. А. Демяненко // Современные проблемы машиностроения : сб. науч. тр. :
в 2 ч. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2023. – Ч. 2. – С. 119–123.
16. **Smalley, P. C.** Screening for EOR and Estimating Potential Incremental Oil Recovery on the Norwegian
Continental Shelf / P. C. Smalley, A. H. Muggeridge // SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, Okla-
homa, USA, 14–18 April 2018. SPE-190230-MS.
17. **Чекан, А. О.** Принципы обоснования объектов для применения ПАВ-полимерного заводнения
в условиях Припятского прогиба / А. О. Чекан // Сб. тезисов и докл. XIII конф. молодых работников РУП
«Производственное объединение “Белоруснефть”». – Речица, 2022. – С. 217.
18. **Stankiewicz, A.** Origin and Behaviour of Oil Asphaltenes – Integration of Disciplines, [Электронный
ресурс] / A. Stankiewicz. – Schlumberger, 2002. – Режим доступа: <https://www.spe.org/dl/docs/2012/stankiewicz.pdf>. – Дата доступа: 02.12.2023.
19. **Ashoori, S.** The relationship between SARA fractions and crude oil stability / S. Ashoori, M. Sharifi, M. May-
soumi, M. Mohammad // Salehic Egyptian Journal of Petroleum. – 2017. – Vol. 26. – P. 209–213.
20. **Solvent** Properties of Amphiphilic Compounds / P. A. Winsor [et al.]. – London : Butter-worths Scientifi-
c Publications, 1954. – 207 p.
21. **Static** and Dynamic Adsorption of Anionic and Nonionic Surfactants / F. J. Trogu [et al.] // Society of Pe-
troleum Engineers Journal. – 1977. – Vol. 17. – P. 337–344.
22. **Experimental** Studies of Surfactant Adsorption Under Conditions of ASP Flooding at West Salym Field /
Y. E. Volokitin [et al.] // Paper presented at SPE Russian Oil and Gas Exploration & Production Technical Confer-
ence and Exhibition, 14–16 October, 2014, Moscow, Russia. SPE 171223.
23. **Development** of Isotherm Polymer/Surfactant Adsorption Models in Chemical Flooding / C. T. Dang
[et al.] // Paper presented at SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition, Jakarta, 2011. SPE 147872.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 31.01.2024

Рэцэнзент Я. Г. Грыбiк

**ПАР-ПАЛІМЕРНАЕ ЗАВАДНЕННЕ ПРЫ РАСПРАЦОЎЦЫ ПАКЛАДАЎ НАФТЫ
КАРБАНАТНЫХ ДЭВОНСКИХ КАЛЕКТАРАЎ ПРЫПЯЦКАГА ПРАГІНУ ВА ЁМОВАХ
ВЫСОКАМІНЕРАЛІЗАВАНЫХ РАСОЛАЎ**

А. А. Чэкан, А. А. Кудрашоў, Д. А. Гаспадароў, І. В. Лымар, А. А. Цыганкоў

РУП «Вытворчае аб'яднанне “Беларуснафта”»

Беларускі навукова-даследчы і практычны інстытут нафты

вул. Кніжная, 156, 246003, Гомель, Беларусь

E-mail: 1chekan.alex@gmail.com, kudryashov@beloil.by, d.gospodarev@beloil.by, I.Lymar@beloil.by, a.tsygankov@beloil.by

У артыкуле падрабязна апісваецца працэс падбору аб'ектаў для правядзення работ па тэхналогіі ПАР-палімернага заваднення на радовішчах Прыпяцкага прагіну. Працэс выбару аптымальнай ПАР-палімернай кампазіцыі для павышэння эфектыўнасці здабычы нафты на абраным аб'екце. Апісаны вынікі правядзення фільтрацыйных эксперыментаў. Праца ўяўляе сабой сістэматычныя даследаванні петрафізічных уласцівасцяў пакладаў вуглевадародаў Прыпяцкага прагіну, хімічнай структуры нафты з наступным аналізам стабільнасці дысперснай сістэмы і верагоднасці ўтварэння цвёрдай фазы, даследаванні па выбары і аптымізацыі павярхоўна актыўных рэчываў і палімераў з далейшым выпрабаваннем абранай ПАР-палімернай кампазіцыі на кернавых мадэлях пласта.

Ключавыя словы: карбанатныя горныя пароды, петрафізічныя ўласцівасці, павярхоўна-актыўныя рэчывы, палімеры, лабараторныя даследаванні.

**SURFACTANT-POLYMER FLOODING IN DEVELOPMENT OF OIL RESERVOIRS
IN CARBONATE DEVONIAN COLLECTORS OF THE PRIPYAT TROUGH
UNDER CONDITIONS OF HIGH-MINERALIZED BRINES**

A. O. Chekan, A. A. Kudrashou, D. A. Gospodarev, I. V. Lymar, A. O. Tsyhankou

State Production Association “Belarusneft”

Belarussian Scientific Research and Design Institute of Oil

15b Knizhnaya St, Gomel, 246003, Belarus

E-mail: 1chekan.alex@gmail.com, kudryashov@beloil.by, d.gospodarev@beloil.by, I.Lymar@beloil.by, a.tsygankov@beloil.by

The article provides a detailed description of the process of selecting objects for implementing the surfactant-polymer (SP) flooding technology in the Pripyat trough oil fields. The selection process involves choosing the optimal SP composition to enhance oil recovery efficiency at the selected site. The article presents the results of conducting filtration experiments. The work comprises systematic research on the petrophysical properties of hydrocarbon reservoirs in the Pripyat trough, the chemical structure of oil, followed by an analysis of the stability of the dispersion system and the probability of solid phase formation. The study also includes the selection and optimization of surfactants and polymers, with subsequent testing of the chosen SP composition on core models of the reservoir.

Keywords: carbonate rock formations, petrophysical properties, surfactants, polymers, laboratory research.

УДК 550.8.011

АБИОГЕННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ НЕФТИ И СТРАТЕГИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

И. Р. Захария, В. Н. Силуянов

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: ramzes0409@gmail.com; oil_ig@geologiya.by

Абиогенная (глубинная) концепция происхождения нефти подтверждается все большим количеством фактов и приобретает новых сторонников в среде геологов-нефтяников. В то же время поисковые работы на нефть проводятся согласно принципам, которые базируются на биотической концепции. В статье приведены аргументации необходимости изменения подходов к проведению геологоразведочных работ на нефть и газ с учетом возможности их глубинного происхождения, рассмотрена роль тектонических дислокаций и трещинообразования в процессе миграции флюидов. Вкратце раскрываются основы миграции нефти и указаны силы, благоприятствующие и препятствующие движению пластовых флюидов в пустотном пространстве горных пород. Обосновывается невозможность латеральной миграции нефти на сколь-нибудь значимое расстояние, что в корне опровергает «осадочно-миграционную теорию». Изложены ключевые моменты, поставленные в основу новых подходов к геологоразведочным работам.

Ключевые слова: кристаллический фундамент, абиогенная концепция, тектонический разлом, трещиноватость, миграция, стратегия геологоразведочных работ.

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос о происхождении нефти имеет не только чисто теоретическую важность, интерес, но и непосредственно практическое, прикладное значение: в зависимости от объяснения процессов генерации нефти и формирования ее скоплений выстраивается стратегия постановки поисковых (геологоразведочных) работ. Биогенная, или органическая, биотическая концепция генерации нефти, разработанная и представленная как «осадочно-миграционная теория», в настоящее время является доминирующим объяснением сложного процесса образования нефти и формирования ее скоплений. Нестыковки в данной концепции начинаются уже с самого ее названия: на самом деле возведение в ранг теории предложенное Н. Б. Вассоевичем [2] и дополненное рядом других ученых объяснение происхождения нефти невозможно ввиду несоблюдения ряда обязательных для теорий основных требований, таких как непротиворечивость, доказуемость и фактоустойчивость [22] (большой вопрос также и к пониманию и объяснению авторами и сторонниками биогенной концепции процесса собственно миграции нефти – нет вопросов только к третьему слову названия концепции – осадочная). То есть данное объяснение генезиса нефти остается в ранге гипотез, как пока еще и глубинная концепция. В то же время глубинная (абиогенная, неорганическая) концепция происхождения нефти сейчас

подтверждается все большим количеством фактов и приобретает все больше сторонников в среде геологов-нефтяников. Принятие глубинного образования нефти, даже если еще не в качестве основной идеи, то хотя бы как возможный вариант (имеющий право на жизнь и подтвержденный рядом фактов), настоятельно требует кардинального пересмотра и изменения подходов к постановке поисковых работ на нефть, смещения акцентов геофизических, геохимических, гидрохимических и других исследований, а также новых подходов к изучению тектоники региона и понимания ее роли в генезисе скоплений углеводородов.

ГЛУБИННАЯ КОНЦЕПЦИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ НЕФТИ ИЗМЕНЯЕТ СТРАТЕГИЮ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Глубинная концепция – это не только и не столько про нефть и газ в породах кристаллического фундамента, но это и об иных источниках углеводородов в отложениях осадочного чехла, не связанных с захороненным органическим веществом осадочных толщ. И именно это ломает старые подходы к поисковым работам. Чрезвычайно важным становится изучение разломной тектоники, вопросов активности разломов и времени

КАРЬСНЫЯ ВЫКАПНІ

их активации, рассмотрение процесса миграции пластовых флюидов и нефти, геотермических исследований. В то же время современные подходы к геологоразведочным работам базируются на все еще доминирующей «осадочно-миграционной теории», во главу угла которой ставится структурный фактор, т. е. наличие положительной структурной формы (ловушки) для всплывающих нефти и газа под действием разности плотностей этих углеводородов и пластовой воды. А это только физический параметр, и геологической мысли здесь нет. Также и способы поиска ловушек в основном имеют не геологическую, а математико-физическую основу и направлены на выявление положительных структурных форм сейсмическими методами [11]. По словам Ю. И. Пиковского (1986), «...практика поисков и разведки нефти и газа опирается пока на отдельные идеи и эмпирические закономерности, а не на законченную теоретическую концепцию» [18, с. 17].

В настоящее время сейсмические работы – основной и практически единственный способ выявления перспективных объектов при поисковых работах на нефть и газ; при подготовке выявленного объекта к поисковому бурению оцениваются вероятности нефтегазонасыщения ловушки, наличия коллектора и флюидоупора. Коэффициенты успешности поисковых работ на УВ по всем изученным бассейнам мира в настоящее время составляют по разным оценкам в среднем 0,2–0,3 [4; 19], т. е. порядка 70–80 % разбуренных структур по разным причинам оказываются «пустыми». Предполагается, что изменение подходов к геологоразведочным работам с учетом положений и критериев глубинной концепции позволит улучшить показатели успешности поисковых работ за счет большей обоснованности и точности рекомендаций на бурение.

Базовые **критерии** нефтегазоносности территорий одинаковы как для биогенной, так и для глубинной концепции происхождения нефти: это наличие источника углеводородов, наличие коллектора, наличие формы, способной аккумулировать углеводороды (ловушки), и сохранение образовавшегося скопления (наличие флюидоупора) [13]. Базовые процессы, формирующие нефтегазоносность бассейнов, – это процессы образования углеводородов (генерации), миграции, аккумуляции, консервации и разрушения/преобразования скоплений. И именно в трактовке процессов образования, миграции и аккумуляции углеводородов кроются большие противоречия между сторонниками обеих концепций. Согласно глубинной концепции, поступление углеводородов в ловушки как в кристаллическом фундаменте, так и в осадочном чехле происходит

по глубинным разломам, в то же время утверждается, что сколь-нибудь значимая латеральная миграция по напластованию практически невозможна [8; 11; 16], и это положение отрицает возможность концентрации и поступления углеводородов в ловушки из так называемых нефтесборных площадей, на чем настаивает биогенная концепция. Поэтому, по мнению авторов, для поисков зон концентрации (скоплений) глубинной нефти в осадочном чехле и в кристаллическом фундаменте необходимо всестороннее изучение разломов как путей миграции (сейсмика, геохимия, термометрия) и изучение приразломных зон (в том числе зон приразломных изменений пород и зон развития тектонической трещиноватости), обнаружение ореолов рассеяния углеводородов над возможными скоплениями, над разломами и изучение теплового потока (геохимия, термометрия), обнаружение зон разуплотнения в кристаллическом фундаменте и коллекторов в коре выветривания (геофизические методы), а также расширение границ поиска в пределах уже открытых месторождений на объекты в более глубоких горизонтах осадочного чехла и кристаллического фундамента. Постановка геологоразведочных работ с учетом принципов глубинной концепции позволит исключить как бесперспективные территории, где нет активных нефтепроводящих разломов, и увеличить глубинность поисков за счет возможных объектов в нижних отделах осадочного чехла и в кристаллическом фундаменте.

Тектонические разломы. Абсолютное большинство залежей углеводородов Припятского прогиба связано с разрывными нарушениями и контролируется ими, а сами залежи, как правило, протягиваются узкой полосой вдоль этих разломов [5; 7; 15]. Особенно наглядно это отображено на картах нефтегеологического районирования Припятского прогиба, на которых зоны нефтенакопления приурочены к основным тектоническим разломам – как региональным ступенеобразующим второго порядка, так и к разломам более низких рангов [1].

Разломы как объект изучения в свете глубинной концепции происхождения нефти приобретают важнейшее значение как пути поступления углеводородов в места их возможной аккумуляции. О приуроченности месторождений нефти и газа к зонам крупных активизированных разломов говорят многие исследователи [1; 3; 5; 7; 15; 18], и для повышения успешности поисковых работ на углеводороды важно изучить такие параметры разломов, как глубинность их заложения, проводимость, время активации и продолжительность активности. Все тектонически активные разломы фиксируются контрастными аномалиями углеводородных газов [15]. Особое внимание при исследованиях следует уде-

лить узлам (пересечениям) разломов; вопросам залечивания разломов и кольматации приразломных зон пластов-коллекторов; дебитности продуктивных скважин в зависимости от удаленности от разломов, узлов. Кроме того, важно выяснение связи всех уже открытых месторождений с разломной тектоникой (детальный анализ строения месторождений, прослеживание путей возможной миграции глубинных флюидов в ловушку, глубинность и ранг разломов); оценка реального расстояния возможного смещения скоплений нефти по латерали от разломов, выяснение факторов такого смещения; предполагается также использование дистанционных методов исследований для изучения разломной сети. Заслуживает внимания изучение вопроса очередности заполнения приразломных ловушек в чехле поднимающимися по разлому углеводородо-флюидными смесями. Возникает необходимость исследовать связи возможного времени формирования/переформирования залежи с предполагаемым временем активации разломов. Требуется изучить возможность определения «пустых» и «нефтепроводящих» разломов, определить возможную связь «наполнения» разломов с их глубинностью, рангом и типом.

Тектонические разломы как таковые представляют собой не просто плоскость, секущую массив горных пород, а целую зону нарушения сплошности среды, с участками повышенной трещиноватости с развитием коллекторов и участками с ухудшенными коллекторскими свойствами – залеченных вторичными минералами, милонитизацией и др. Отдельного изучения требуют зоны приразломных изменений горных пород, которые могут быть как экранами для движения флюидов при залечивании затронутых изменениями участков, так и путями миграции (при активности или активации разломов) и даже местами аккумуляции углеводородов (жильные скопления).

Сегодня общепринятым считается понимание трещины как некоторой поверхности, которая непосредственно связана с нарушением сплошности среды и/или с потерей сцепления блоков горной породы. Эти физические процессы называются разрывом. В процессе разрывов сплошности геологической среды могут возникать геологические структуры двух основных типов: нарушения (разломы), которые характеризуются смещением пород; микротрещины (трещины), которые выделяются по отсутствию смещений при очевидном нарушении сплошности пласта [6]. В горной среде могут существовать как трещины, так и разломы, отличающиеся друг от друга главным образом по отсутствию/наличию смещений пород. Чаще всего трещинные коллекторы возникают в хрупких низ-

копористых породах. В тектонически активных регионах размеры так называемых макротрещин чаще всего большие, причем по всем измерениям.

Ловушки в приразломных зонах, как правило, будут иметь преимущественно трещиноватый тип коллектора. В качестве таких структур целесообразно рассматривать интервалы естественных трещин (трещины скола и отрыва) и зоны с повышенными емкостными свойствами, образование которых вызвано увеличением кавернозной или межблоковой пористости. Нередки случаи, когда оба типа этих коллекторов совмещены в пространстве.

Трещиноватость является крайне значимым параметром для оценки нефтегазоносности в хрупких коллекторах, т. к. результаты большого количества исследований говорят о существовании значимых связей между трещиноватостью и флюидонасыщением [20].

В свете вышесказанного установление зон с повышенной трещиноватостью пород разреза вблизи тектонических разломов становится весьма актуальным. Одним из важных геологических методов оценки трещиноватости является исследование керна. Геофизические методы исследований скважин позволяют делать прогноз трещиноватости с определенной долей уверенности, а в случае применения скважинного акустического телевизора уровень достоверности в принципе достаточно высок [17]. Включение сейсмических методов опознания зон повышенной трещиноватости в комплекс исследований должно существенно снизить неопределенность прогноза в первую очередь за счет большого дополнительного объема данных, непрерывно распределенных (и при этом с большой плотностью) в пределах площади изучаемого объекта. Это резко контрастирует с определениями только по дискретным, сравнительно редко и случайно расположенным скважинам.

Особенностью нефтегазоносных объектов в теле кристаллического фундамента является неопределенность размеров и контуров аккумулятивных форм, содержащих углеводороды, и которые, по-видимому, неправильно называть ловушками: для установления контуров таких объектов также необходимо привлекать различные методы сейсморазведки с изучением опыта работ на уже разрабатываемых месторождениях нефти в кристаллическом фундаменте, а возможно также и в сланцевых массивах.

Миграция. Детальное изучение процессов миграции углеводородов в тесной связи с взаимодействием фаз показало, какие силы обуславливают движение нефти в пустотной среде горных пород [8]. Это сила всплытия (разность плотностей нефти и пластовой воды, или Архимедова сила), гидродинамическая разгрузка эманаций глубинных

процессов и конвективный тепломассоперенос. Все три силы направлены вертикально вверх. А основная сила, препятствующая движению нефти в скопления в пустотном пространстве горных пород – это сила межмолекулярного взаимодействия двух фаз, т. е. энергетическое взаимодействие нефти и поверхности пустот породы. Она препятствует движению нефти и в латеральном, и в вертикальном направлениях. Силы энергетического взаимодействия углеводородов с твердой фазой весьма значительны, а с учетом высокой дисперсности пустот, выраженной в показателе удельной поверхности пустотного пространства, способствуют сорбции и прочному удерживанию значительного количества углеводородов на поверхности минеральных зерен породы [8; 10]. Действие сорбционных сил приводит к тому, что, например, даже в пределах нефтяных месторождений в среднем от 30 до 60–70 % нефти может находиться в свободной фазе, а остальное количество прочно связывается поверхностными силами, что и отражается в низких коэффициентах вытеснения и извлечения нефти. Весьма существенное влияние поверхностных явлений на сам процесс миграции нефти в пласте обосновывает невозможность эмиграции так называемой микронепфти из глинистых пород и ее аккумуляции в породах-коллекторах. Собственно миграция нефти в пустотном пространстве пород как отдельной жидкой фазы в межинверсионные периоды при наличии в пустотах свободной, несвязанной нефти происходит в основном под действием сил всплытия – за счет разности плотностей пластовых флюидов в режиме молекулярно-диффузионного массопереноса. Вектор направленности сил всплытия и определяет вертикальный характер миграции как преобладающий [13]. Здесь необходимо сказать, что детально, с рассмотрением энергетического взаимодействия флюидов и пород, процесс латерального движения нефти в пластах в рамках «осадочно-миграционной теории» (в которой латеральное перемещение флюидов в принципе является основополагающим принципом теории) не исследовался – соответствующих публикаций на эту тему не найдено.

Таким образом, если латеральная миграция нефти как таковая в целом не происходит, невозможно на сколь-нибудь значительные для влияния на процесс образования скоплений углеводородов расстояния, то, значит, принципиально невозможно формирование ее скоплений из продуктов переработки рассеянного органического вещества. Следовательно, поступление нефти в ловушки происходит не по латерали из «погруженных нефтесборных», нефтегенерирующих зон, а по зонам тектонического разуплотнения пород, по разломам в земной

коре в субвертикальном направлении из глубинных источников или же из разрушающихся более погруженных скоплений.

В принципе можно утверждать, что всё разнообразие вариантов гипотез нефтеобразования, развиваемых в рамках биогенной концепции, разбивается о невозможность латеральной миграции и окончательно добивается действием сорбционных сил (сил энергетического взаимодействия нефти с твердой фазой пород), прочно удерживающих значительное количество нефти на поверхности минеральной части породы и препятствующих как первичной эмиграции «микронепфти» из «нефтематеринской породы», так и вторичной миграции нефти по пласту-коллектору в ловушку. То есть детальное рассмотрение миграции и сорбции углеводородов служит могильным камнем биогенной концепции, в то же время не противореча глубинной.

В 1973 г. Н. А. Кудрявцев предложил следующую закономерность, названную в последствии законом, правилом Кудрявцева: «Во всех без исключения нефтеносных районах, где нефть или газ имеются в каком-либо горизонте разреза, в том или ином количестве они найдутся и во всех нижележащих горизонтах (хотя бы в виде следов миграции по трещинам). Это положение совершенно не зависит от состава пород, условий образования (могут быть метаморфизованные и кристаллические породы) и содержания в них органического вещества. В горизонтах, где имеются хорошие коллекторы и ловушки, возникают промышленные залежи» [14, с. 140]. Из данного закона вытекает, что под уже открытыми месторождениями в осадочном чехле высока вероятность наличия углеводородов в нижележащих горизонтах как в осадочном чехле, так и в кристаллическом фундаменте при наличии ловушек – пород-коллекторов и флюидоупоров. И чем выше этажность уже установленной нефтеносности, тем больше вероятность обнаружения скоплений в нижних интервалах разреза. Таким образом, закон Кудрявцева позволяет решать и обратную поисковую задачу: при прогнозировании и поисках нефти в кристаллическом фундаменте искать как под уже открытыми/разрабатываемыми месторождениями, так и рядом в аналогичных структурно-тектонических условиях.

Ярким подтверждением этого правила в условиях Припятского прогиба являются результаты геологоразведочных работ на Речицком месторождении. Первый приток нефти дебитом 1 м³/сут при испытании интервала 2904–2917 м из нижней части подсолевого терригенного комплекса получен в 1963 г. на Речицкой площади в поисковой скв. 2. По результатам последующего бурения поисковых скважин получены промышленные при-

токи нефти из межсоловых отложений (законский горизонт) в скв. 8 (1964 г.) и из подсолового карбонатного комплекса (семилукский горизонт) в скв. 6 (1964 г.). К настоящему периоду на 01.01.2024 на месторождении установлено 17 залежей нефти с промышленными запасами от пород кристаллического фундамента до верхнесоленосной толщи. Таким образом, правило Н. А. Кудрявцева в Припятском прогибе реализуется при поисках новых залежей на уже разрабатываемых месторождениях на протяжении 60 лет (Я. Г. Грибик, устное сообщение).

Для поисков и картирования возможных скоплений глубинной нефти как в кристаллическом фундаменте, так и в осадочном чехле, а также для обнаружения зон разуплотнения, дезинтеграции в породах кристаллического фундамента, выявления и прослеживания разломов земной коры могут весьма успешно использоваться различные геофизические методы – как сейсмические разных модификаций, так и гравиразведочные, магниторазведочные, электроразведочные, в частности метод магнитотеллурического зондирования. Для прослеживания линеаментов используются дистанционные методы. И в данном случае важно проводить комплексирование данных методов, используя оптимальные по эффективности для конкретного района комплексы исследований в зависимости от геологического строения и глубинных условий.

Важным поисковым инструментом остаются и геохимические исследования, которые необходимо переориентировать с оценки генерационного потенциала, степени катагенеза органического вещества пород (зрелости) и рисования «гипотетических» путей латеральной миграции на десятки и даже сотни км [21] на поиск ореолов рассеяния углеводородов, на поиск геохимических аномалий как поверхностных, так и в разрезе продуктивных/перспективных толщ, на исследование состава эманаций над месторождениями, над разломами; на изучение различий геохимических полей в условиях активных и неактивных разломов, на изучение связи содержания органического углерода $C_{орг}$ в породах с их нефтеносностью в свете глубинной концепции происхождения нефти. Современные технологии газогеохимической съемки высокоточной аппаратурой позволяют обнаружить глубинный водород, гелий и другие глубинные эманации, которые могут быть индикаторами углеводородных скоплений.

Газовые съемки различных модификаций позволяют установить аномальные концентрации углеводородов в поверхностных условиях – в основном метана, которые «обусловлены диффузионным потоком из месторождений и эффузионным по разломам [15, с. 91]. Здесь же Б. Р. Кусов указывает, что контрастность эффузионного потока по разломам

многократно превышает контрастность диффузионного потока из месторождений [15].

Гидрохимические исследования пластовых вод также могут показывать наличие в водах признаков близости залежей углеводородов – возможно, дополнив изучением компонентов, характеризующих глубинные индикаторы нефтегазоносности (гелий, литий, рубидий, ванадий и др.). Показателем глубинного происхождения также является гидрохимическая инверсия разреза [12].

Также требуют изучения свойства нефтей в зависимости от характеристик разломов, эманаций пород кристаллического фундамента и вмещающих пород чехла; важно изучить изменение свойств нефтей во времени и определение времени формирования скопления, разрушение скопления и геохимические следы разрушенных скоплений. Предлагается обратить особое внимание на изучение заполнения ловушек углеводородов в зависимости от разломной тектоники, в том числе от удаленности, глубинности, времени заложения и активности разломов; обратить внимание на изучение вопросов длительности «жизни» залежей, их разрушения, переформирования и перетоков; проектировать геологоразведочные работы для поисков возможных скоплений углеводородов с привязкой к сети тектонических нарушений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При новых подходах к геологоразведочным работам на нефть и газ, учитывающих возможность и реальность глубинного генезиса углеводородов – нефти и газа, не отрицаются структурный фактор и наличие ловушки как необходимые атрибуты аккумуляции углеводородов (наличие некой аккумулятивной формы). В то же время в основу новых подходов к геологоразведочным работам ставится привязка поисков возможных скоплений к сети тектонических нарушений как путей поступления углеводородов в породы осадочного чехла и кристаллического фундамента, принятие точки зрения о невозможности сколь-нибудь значимой латеральной миграции нефти. Последнее вместе с установлением того факта, что действие сорбционных сил, прочно удерживающих значительное количество углеводородов на поверхности минеральной части породы и препятствующих как первичной эмиграции «микронепти» из «нефтематеринской породы», так и вторичной миграции нефти по пластколектору в ловушку, служит весьма веским аргументом против биогенной концепции, в то же время не противореча глубинной.

Ключевые моменты, положенные авторами в основу нового предлагаемого подхода к геолого-

разведочным работам, базирующага на глыбіннай канцэпцыі паходжання углеводародов [9], наступныя:

- прыурочаннасць магчымых скоплений УВ к асновным глыбінным разломам і іх адветвлениям;
- сейсмічныя работы накіраваны як на дэталёвае вывучэнне разломнай сеткі асадкавага чэхла і яе прослежванне ў крысталічным фундаменце, так і на пошук зон разуплотнення і дэзінтэграцыі ў целе крысталічнага фундамента, ісследванне кары выветривания;
- працэс геалагаразведочных работ на нефть і газ уключае ўсестаронняе вывучэнне разломов, іх актыўнасць, градацыю (ранжирование) і ўзаемасвязь з нефtegaзонаснасцю;
- немагчымасць сколь-нібудзь значымой латэральнай міграцыі углеводародов;
- магчымасць нефtegaзонаснасці як асадкавага чэхла, так і крысталічнага фундамента, што ўзвешчывае патэнцыял рэгіёна;
- этажнасць нефtegaзонакаплення – сагласна закону Кудравцева, пад ужо адкрытымі местарождзенымі ў асадкавым чэхле высока верагатынасць на-

лічзя скоплений углеводародов ў ніжележащых гарызонтах, ў том лісле і ў пародах крысталічнага фундамента;

- этажнасць скоплений ў асадкавым чэхле як поіскавы крерыі для крысталічнага фундамента: чым вышэ этаж нефtegaзонаснасці чэхла, тем балее верагатыны скопления ў ніжележащых гарызонтах пры наяўнасці каллектаров і флюідопаров для ных;
- ісследванне тэпловага патока, тэплага поля басейна як паказатэля глыбінных працэсов і індыхатара актывных разломов;
- ісследванне ореолов рассяня углеводародов і/ілі іх кампанентав, а такжэ сапутствующых элементав – геохімічных аномалій, прымымі мэтадымі як паказатэляв магчымага наяўнасця скоплений углеводародов і індыхатара актывных разломов;
- як поіскавы крерыі выступае і саств парод крысталічнага фундамента – бальшыства адкрытых местарождзений міра ў фундаменце прыурочана к кіслым пародам – гранітам і гранітоідам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бескопыльный, В. Н.** Тектоническое районирование как основа прогноза остаточных перспектив нефtegaзонаснасці Прыпятскага прагіба / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грыбик // Потэнцыял дабычы гаручых іскопаемых ў Беларусі і прагноз яго рэалізацыі ў перавай паловіне ХХІ века. – Гомель : ПО «Белоруснефть». – 2012. – С. 9–54.
2. **Вассоевич, Н. Б.** Теория осадочно-миграционного происхождения нефти (исторический обзор и современное состояние) / Н. Б. Вассоевич // Изв. АН СССР. Сер. Геология. – 1967. – № 11. – С. 135–156.
3. **Гавриш, В. К.** Роль глыбінных разломов ў міграцыі і акумуляцыі нефты і газа / В. К. Гавриш. – Киев : Наукова думка. – 1978. – 172 с.
4. **Галкин, С. В.** Методология учета геологических рисков на этапе поисков и разведки нефтяных месторождений / С. В. Галкин // Вестн. ПНИПУ. Геология. Нефtegaзавое і горнае дело. – 2012. – № 4. – С. 23–32.
5. **Геология** і нефtegaзонаснасць запада Восточно-Европейской платформы: к 70-летию БелНИГРИ / З. Л. Познякевич [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 1997. – 696 с.
6. **Голф-Рахт, Т. Д.** Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов / Пер. с англ. Н. А. Бардиной [и др.]. – М. : Недра. – 1986. – 607 с.
7. **Залежи** углеводародов неантыклінальнага тыпа Прыпятско-Донецкага авлакогена / И. М. Шахновский [и др.] – М. : Наука. – 1986. – 79 с.
8. **Захария, И. Р.** Міграцыя нефты ў пустотном прастранстве горных парод: латэральная ілі восходзящая? / И. Р. Захария // Літасфера. – 2022. – № 2 (57). – С. 76–87.
9. **Захария, И. Р.** Новыя падходы к геалагаразведочным работам ў свеце глыбіннай канцэпцыі паходжання нефты: тезысы докл. / И. Р. Захария, В. Н. Сілуянов, Р. В. Асвінов // Матэрыялы конф. «Гармонізацыя нарматыўнага рэгуліравання навучна-обаснаваных мер экалагічнай бязопаснасці і адаптацыі к змяненню клімата ў рамках Саюзнага гасударства». – Минск : БелНИЦ «Экалогія», 2024. – С. 102–111.
10. **Захария, И. Р.** Паверхнасныя явленья на граніцы раздэла фаз і нефтеотдача / И. Р. Захария, А. А. Цагельнік // Поіскі і освоеныя нефтяных рэсурсов Рэспублікі Беларусь: сб. навуч. тр. БелНИПИ-нефть, вып. 9. – Минск : Экоперспектыва. – 2017. – С. 50–58.
11. **Исаев, Г. Д.** О канцэпцыях нефtegaзаабразавання / Г. Д. Исаев // Вестн. ТомГ У. – 2009. – № . 323. – С. 374–378.
12. **Киреева, Т. А.** Гідрохімічныя асабеннасці вод фундамента ў сувязі з нефтенаснасцю / Т. А. Киреева // Геология нефты і газа. – 2018. – № 1. – С. 95–108.

13. **Критерии** нефтегазоносности осадочного бассейна / А. В. Ступакова [и др.] // Георесурсы. – 2023. – Т. 25, № 2. – С. 5–21.
14. **Кудрявцев, Н. А.** Генезис нефти и газа / Н. А. Кудрявцев. – Л. : Недра, 1973. – 216 с.
15. **Кусов, Б. Р.** Газ (метан) природный, нефтяной, угольный, сланцевый – что все это? / Б. Р. Кусов // Недропользование XXI век. – 2014. – № 3 (47). – С. 88–91.
16. **Кусов, Б. Р.** Генезис некоторых углеродсодержащих полезных ископаемых (от метана до алмаза) / Б. Р. Кусов. – Владикавказ : ИПО СОИГСИ. – 2010. – 164 с.
17. **Орехов, А. Н.** Возможности геофизических методов для прогнозирования трещиноватости коллекторов / А. Н. Орехов, М. М. М. Аmani // Изв-я Томск. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330, № 6. – С. 198–209.
18. **Пиковский, Ю. И.** Две концепции происхождения нефти: нерешенные проблемы / Ю. И. Пиковский // Журн. ВХО им. Д. И. Менделеева. – 1986. – Т. XXXI, № 5. – С. 489–498 (9–18).
19. **Прищепа, О. М.** Достоверность оценок перспективных ресурсов углеводородного сырья на подготовленных к бурению объектах / О. М. Прищепа, А. А. Отмас, А. В. Куранов // Минеральные ресурсы России. – 2011. – № 1. – С. 21–26.
20. **Сейсмические** исследования неравномерности открытой трещиноватости и неоднородности флюидонасыщения геологической среды для оптимального освоения месторождений нефти и газа / О. Л. Кузнецов [и др.] // Георесурсы. – 2018. – № 3. – С. 206–216.
21. **Формирование**, переформирование и деградация нефтяных залежей Среднего Каспия / Н. В. Дорофеев [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2014. – № 12. – С. 4–10.
22. **Шарапов, И. П.** Метагеология: некоторые проблемы / И. П. Шарапов. – М. : Наука, 1989. – 208 с.

Артыкул паступіў у рэдакцыю 20.03.2024

Рэцэнзент Я. Г. Грыбік

АБІЯГЕННАЯ КАНЦЭПЦЫЯ ПАХОДЖАННЯ НАФТЫ І СТРАТЭГІЯ ГЕОЛАГАРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ

І. Р. Захарыя, В. М. Сілуянаў

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»
філіял «Інстытут геалогіі»
вул. Акадэміка Купрэвіча, 7, 220141, Мінск, Беларусь
E-mail: ramzes0409@gmail.com; oil_ig@geologiya.by

Абіягенная канцэпцыя паходжання нафты пацвярджаецца ўсё большай колькасцю фактаў і набывае новых прыхільнікаў у асяроддзі геалагаў-нафтавікоў. У той жа час пошукавыя работы на нафту праводзяцца згодна з прынцыпамі, якія грунтуюцца на біятычнай канцэпцыі. У артыкуле прыведзены аргументацыі неабходнасці змянення падыходаў да правядзення геалагаразведачных работ на нафту і газ з улікам магчымасці іх глыбіннага паходжання; разглядаецца роля тэктанічных дыслакацый і трэшчынаўтварэння ў працэсе міграцыі флюідаў. Сцільна раскрываецца асновы міграцыі нафты і паказаны сілы, якія спрыяюць і перашкаджаюць руху пластовых флюідаў у пустотнай прасторы горных парод. Аргументавана абгрунтаваецца немагчымасць латэральнай міграцыі нафты на колькі-небудзь значную адлегласць, што ў ко-рані абвяргае «асадкава-міграцыйную тэорыю». Выкладзены ключавыя моманты, якія пакладзены ў аснову новых падыходаў да геалагаразведачных работ.

Ключавыя словы: крышталічны фундамент, абіягенная канцэпцыя, тэктанічны разлом, трэшчынаватасць, міграцыя, стратэгія геалагаразведачных работ.

ABIOTIC CONCEPT OF OIL ORIGIN AND EXPLORATION STRATEGY

I. Zakharia, V. Siluyanov

State Enterprise “SPC for Geology”
Branch “Institute of Geology”
7 Akademika Kuprevicha St, 220084, Minsk, Belarus
E-mail: ramzes0409@gmail.com, oil_ig@geologiya.by

The abiogenic concept of the origin of oil is confirmed by an increasing number of facts and is gaining new supporters among petroleum geologists. At the same time, prospecting for oil is carried out according to principles

that are based on the biotic concept. The article presents reasoning on need of changes in the approaches to oil and gas exploration, taking into account possibility of their deep origin, and considers the role of tectonic dislocations and fracturing in the process of fluid migration. The basics of oil migration are briefly revealed and the forces that favor and hinder the movement of reservoir fluids in the void space of rocks are indicated. The impossibility of lateral migration of oil over any significant distance is substantiated, which fundamentally refutes the “sedimentary migration theory”. The key points that form the basis of new approaches to geological exploration are outlined.

Keywords: crystalline basement, abiogenic concept, tectonic fault, fracturing; migration, exploration strategy.

ДАВЕДАЧНЫЯ МАТЭРЫЯЛЫ

ОБЗОР ПУБЛИКАЦИЙ, ВОШЕДШИХ В ОТЧЕТ СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ КОМИССИИ БЕЛАРУСИ ЗА 2023 ГОД

С. В. Демидова, П. О. Сахарук

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»
филиал «Институт геологии»
ул. Академика Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь
E-mail: demidovasvet@mail.ru, polina.sakharuk@gmail.com

Стратиграфическая комиссия Беларуси ежегодно готовит обзор публикаций отечественных и зарубежных исследователей по стратиграфической тематике («Літасфера» № 1 (46), 2017; № 1 (48), 2018; № 1 (50), 2019; № 1 (52), 2020; № 1 (54), 2021; № 1 (56), 2022; № 1 (58), 2023).

Как и в предыдущие годы, члены Стратиграфической комиссии, а также сотрудники различных ведомств участвовали в дискуссиях по вопросам применения Стратиграфических схем докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси (2010, 2017) на заседаниях ученых и научно-технических советов, при рассмотрении материалов научных и производственных отчетов, подготовке печатных научных работ, при предварительном обсуждении и защите диссертаций.

В 2023 г. белорусские геологи принимали участие в работе научно-практических конференций:

- LXIX сессия Палеонтологического общества при РАН, г. Санкт-Петербург [23];
- XV Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Устойчивое развитие: региональные аспекты», г. Брест [45];
- VIII Российская конференция по проблемам геологии докембрия «Стратиграфия докембрия: проблемы и пути решения», г. Санкт-Петербург [9; 12];
- X Международное совещание по литологии «Литогенез и минералогия осадочных комплексов докембрия и фанерозоя Евразии», г. Воронеж [22];
- Всероссийская научно-практическая конференция «Вопросы палеонтологии и региональной стратиграфии фанерозоя Европейской части России», г. Ульяновск [36];
- XX Международная научная конференция молодых ученых «Молодежь в науке – 2023», г. Минск [53; 65];
- Всероссийская конференция, посвященная памяти А. А. Свиточа «Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек» [63];
- VI Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов», г. Брест [5; 11; 14; 16; 17; 20; 26; 37; 38; 41; 42; 43; 46; 48; 50; 52; 56; 60; 62; 66; 67];
- 81st International Scientific Conference of the University of Latvia, Riga [29].

Результаты стратиграфических исследований публиковались в отечественных («Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Біялогія. Навукі аб Зямлі» [47; 51; 55; 61], «Літасфера» [1; 2; 6; 8; 10; 13; 18; 19; 25; 28; 34; 35; 44; 57; 59; 64; 68], «Вестник БарГУ. Биологические науки. Сельскохозяйственные науки» [32; 39; 40], «Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология» [4; 7], «Природопользование» [33; 58]), а также в зарубежных («Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология» [49], «Литология и полезные ископаемые» [3], «Стратиграфия. Геологическая корреляция» [15; 21; 24], «Acta Palaeontologica Polonica» [30], «Fossil Record 9. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin» [31], «Land» [69]) научных периодических изданиях. В 2023 г. вышла монография Е. А. Кухарика [54] о современных геологических процессах на юго-западе Беларуси. Продолжается сотрудничество Стратиграфической комиссии Беларуси с Межведомственным стратиграфическим комитетом России, Подкомиссией по девонской стратиграфии Международной стратиграфической комиссии (отчеты о деятельности белорусских стратиграфов публикуются в издании «SDS Newsletter» [27]).

Ниже приводится перечень опубликованных в 2023 г. работ.

НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Изотопная хемотратиграфия

1. **Махнач, А. А.** Изотопы углерода и кислорода в отложениях пограничных горизонтов нижнего и среднего девона Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 83–101.

2. **Махнач, А. А.** Изотопы углерода, кислорода и серы в среднеэйфельских отложениях Беларуси / А. А. Махнач, Б. Г. Покровский, О. В. Мурашко // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 111–129.

3. **Махнач, А. А.** Изотопы С, О, 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.

ГИС-технологии в стратиграфии

4. **Маевская, А. Н.** Геолого-генетическое моделирование кайнозойских отложений Брестской области с применением информационных технологий / А. Н. Маевская, М. А. Богдасаров, Д. О. Петров, Н. Н. Шешко // Журнал Бел. гос. ун-та. География. Геология. – 2023. – № 1. – С. 107–118.

5. **Маевская, А. Н.** Опыт создания веб-атласа «Геологическое строение кайнозойской толщи Брестской области» / А. Н. Маевская, М. А. Богдасаров, Н. Н. Шешко // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 149–154.

6. **Особенности** разработки цифровой модели четвертичных отложений Гомельской области / А. П. Гусев [и др.] // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 27–37.

АРХЕЙСКИЕ И НИЖНЕПРОТЕРОЗОЙСКАЯ ЭОНОТЕМЫ

Кристаллический фундамент

7. **Зуй, В. И.** Радиогенная теплогенерация в породах кристаллического фундамента Беларуси / В. И. Зуй, Е. И. Лосева // Журнал Бел. гос. ун-та. География. Геология. – 2023. – № 2. – С. 90–104.

8. **Минералого-геохимические** особенности метасоматитов кристаллического фундамента запада Беларуси (участок «Ельня») / А. А. Толкачикова [и др.] // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 61–75.

9. **Пискун, О. А.** К вопросу о выделении раннепротерозойских гранитоидных комплексов на западе Беларуси / О. А. Пискун // Стратиграфия докембрия: проблемы и пути решения : сб. материалов VIII Российск. конф. по проблемам геологии докембрия, Санкт-Петербург, 25–29 сент. 2023 г. – СПб. : Ин-т геологии и геохронологии докембрия Российск. акад. наук, 2023. – С. 120–123.

10. **Пискун, О. А.** Потенциальная рудоносность раннепротерозойских гранитоидов кристаллического фундамента запада Беларуси / О. А. Пискун // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 76–82.

11. **Пискун, О. А.** Условия формирования раннепротерозойских гранитоидов кристаллического фундамента запада Беларуси / О. А. Пискун // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 182–187.

ВЕРХНЕПРОТЕРОЗОЙСКАЯ ЭОНОТЕМА

12. **Брянский** и Брагинский блоки как части единого палеопротерозойского Ингуло-Севского орогена, Западная Сарматия: данные по метаосадочным породам / К. Г. Ерофеева [и др.] // Стратиграфия докембрия: проблемы и пути решения : сб. материалов VIII Российск. конф. по проблемам геологии докембрия, Санкт-Петербург, 25–29 сент. 2023 г. – СПб. : Ин-т геологии и геохронологии докембрия Российск. акад. наук, 2023. – С. 62–64.

13. **Котлинский** горизонт верхнего венда Беларуси: литологическое расчленение и биостратиграфическое обоснование / А. Г. Лапцевич [и др.] // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 17–25.

14. **Стрельцова, Г. Д.** О рифейских отложениях восточной части Беларуси / Г. Д. Стрельцова, А. Г. Лапцевич, О. Ф. Кузьменкова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 200–203.

15. **U-Th-Pb** возраст детритовых цирконов из рифейских отложений Волыно-Оршанского палеопротекта (Беларусь) / Т. С. Зайцева [и др.] // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2023. – Т. 31, № 5. – С. 42–62.

ФАНЕРОЗОЙСКАЯ ЭОНОТЕМА. ПАЛЕОЗОЙСКАЯ ЭРАТЕМА

16. **Заіка, Ю. У.** Ніжнепалеазойскія адклады ў Чэрвеньскім раёне Беларусі: новыя вынікі вывучэння / Ю. У. Заіка // Актуальныя праблемы навук о Зямлі: даследаванні трансгранічных рэгіёнаў : сб. матэрыялаў VI Міждунар. навуц.-практ. канф., Брэст, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ін-т прыродопользавання НАН Беларусі, Брэст. гос. ун-т ім. А. С. Пушкіна, Брэст. гос. тэхн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брэст : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 109–113.

Кембрыіская сістэма

17. **Раннекембрыіскія** арганікастэнныя мікрафосіліі юга Беларусі / Е. Ю. Голубкова [и др.] // Актуальныя праблемы навук о Зямлі: даследаванні трансгранічных рэгіёнаў : сб. матэрыялаў VI Міждунар. навуц.-практ. канф., Брэст, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ін-т прыродопользавання НАН Беларусі, Брэст. гос. ун-т ім. А. С. Пушкіна, Брэст. гос. тэхн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брэст : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 80–83.

Сілурыіская сістэма

18. **Plax, D.** Pridolian ichthyofauna of Belarus / D. Plax // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 26–47.

Дэвонская сістэма

19. **Груднін, А. С.** Літолагі-фасіяльныя асаблівасці строення пологкага гарызонта і ланскага надгорызонта Рэчыцкага нефцянога месцарождэння Прыпятскага прогіба / А. С. Груднін // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 130–137.

20. **Мурашко, О. В.** Конодонты з ніжнедэвонскіх (лохковскіх) адкладаў юга-западнай часткі Беларусі ў разрэзе скважыны Ратайчыцы 12 (Камянецкі раён, Брэстская абласць) / О. В. Мурашко // Актуальныя праблемы навук о Зямлі: даследаванні трансгранічных рэгіёнаў : сб. матэрыялаў VI Міждунар. навуц.-практ. канф., Брэст, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ін-т прыродопользавання НАН Беларусі, Брэст. гос. ун-т ім. А. С. Пушкіна, Брэст. гос. тэхн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брэст : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 166–169.

21. **Опорныя** разрэзы, іскопаемая іхтыофауна і Sr-ізотопная характарыстыка адкладаў ніжняга франа Латвійскай седлавіны і Оршанскай впадыны, Беларусь / Д. П. Плакс [и др.] // Стратыграфія. Геалагічная карэляцыя. – 2023. – Т. 31, № 6. – С. 20–50.

22. **Осадочныя** вулканаміктыныя пароды задонскага надгорызонта ніжняга фамена Прыпятскага прогіба / О. Ф. Кузьменкова [и др.] // Літогенез і мінералізацыя асадкавых комплексаў докембрыя і фанерозы Еўразіі : сб. матэрыялаў X Міждунар. совещ. по літологіі, Воронеж, 18–23 сент. 2023 г. – Воронеж : ВГУ, 2023. – С. 204–208.

23. **Плакс, Д. П.** Іхтыофауна з ніжне- і сярэнедэвонскіх адкладаў параметрычнай скважыны Клімовіцкая 4п (Могілеўская абласць, Беларусь) / Д. П. Плакс // Біо- і геасобыткі ў гісторыі Зямлі. Этапнасць эвалюцыі і стратыграфічная карэляцыя : матэрыялы LXIX сесіі Палеанталогічнага обшчэства пры РАН. – СПб. : Картфабрыка ВСЕГЕИ, 2023. – С. 235–236.

24. **Раннефаменскі** трахіандэзітывы магматызм Прыпятскага палеорыфта, Восточно-Еўрапейская платформа: U-Pb вост і петрологія / О. Ф. Кузьменкова [и др.] // Стратыграфія. Геалагічная карэляцыя. – 2023. – Т. 31, № 6. – С. 51–71.

25. **Цыганков, А. О.** Первы перыяд закачкі вады ў нізкопроніцаемыя калектары нетрадыцыйнага тыпа для ўзвешчэння нефтэотдачы на прымере елецка-петрыковскіх адкладаў Рэчыцкага месцарождэння / А. О. Цыганков, А. О. Чекан, А. А. Кудряшов // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 138–147.

26. **Шмыгалева, А. М.** О ўплыві разрабкі залежэй нефці на геафлюідодынамічны рэжым дэвонскіх рэзервуараў сярэдняй часткі Прыпятскага прогіба / А. М. Шмыгалева, Я. Г. Грыбік // Актуальныя праблемы навук о Зямлі: даследаванні трансгранічных рэгіёнаў : сб. матэрыялаў VI Міждунар. навуц.-практ. канф., Брэст, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ін-т прыродопользавання НАН Беларусі, Брэст. гос. ун-т ім. А. С. Пушкіна, Брэст. гос. тэхн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брэст : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 212–216.

27. **Membership** News. CM Dmitry P. Plax and the Belarusian Devonian Group / D. P. Plax [et al.] // SDS Newsletter. – 2023. – № 38. – P. 110–111.

28. **Murashko, O.** Conodonts from the Lochkovian sediments of the Belarusian part of the Volyn Monocline (Tomashovka 11 borehole) / O. Murashko // Літасфера. – 2023. – № 2 (59) – С. 4–13.

29. **Plax, D. P.** A new antiarch fish (Placodermi) from the Lower Devonian Vitebsk Formation of Belarus / D. P. Plax, E. Lukševičs // Natural sciences. Geology, Geophysics & Palaeontology : abstracts of the 81st International Scientific Conference of the University of Latvia, Riga, 9–10 Feb. – Riga : University of Latvia, 2023. – P. 42–44.

30. **Plax, D. P.** A new Early Devonian antiarch placoderm from Belarus, and the phylogeny of Asterolepidoidei / D. P. Plax, E. Lukševičs // Acta Palaeontologica Polonica. – 2023. – V. 68 (3). – P. 513–527.

31. **Plax, D. P.** Formal description of *Valentinaspis profundus* gen. et sp. n., a placoderm fish and zone fossil from the Emsian of Belarus and Estonia / D. P. Plax, M. J. Newman // Fossil Record 9. New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin. – 2023. – № 94. – P. 525–532.

32. **Plax, D. P.** New data on *Diplacanthus kleesmentae* Valiukevicius, 1986 from the Vitebsk Regional Stage (Upper Emsian) of the Lower Devonian of Belarus / D. P. Plax // Вестн. БарГУ. Биологические науки. Сельскохозяйственные науки. – 2023. – № 2 (14). – С. 58–68.

33. **Plax, D. P.** Stratigraphy and ichthyofauna of the Upper Emsian-Givetian deposits in the section of the Klimovichi 4n borehole (Mogilev region, Belarus) / D. P. Plax, M. A. Bahdasarau // Природопользование. – 2023. – № 1. – P. 151–172.

Каменноугольная система

34. **Толстошеев, В. И.** Стратиграфия и корреляция отложений визейского яруса нижнего карбона в северной части Припятского прогиба / В. И. Толстошеев, П. О. Сахарук // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 14–26.

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

МЕЗОЗОЙСКАЯ ЭРАТЕМА

Меловая система

36. **Каримова, Л. А.** Местные стратиграфические подразделения верхнемеловых отложений восточной части территории Беларуси / Л. А. Каримова, П. О. Сахарук // Вопросы палеонтологии и региональной стратиграфии фанерозоя Европейской части России : Всероссийск. науч.-практ. конф. (г. Ульяновск, 22–25 сент. 2023 г.) : сб. науч. тр. / под. ред. В. П. Морозова, М. А. Рогова, Н. Г. Зверькова. – Ундоры : Ундорского палеонтологического музея им. С. Е. Бирюкова, 2023. – С. 132–134.

37. **Литобиостратиграфическая** характеристика нижнемеловых отложений картировочной скважины ГГК-1. Часть 1: валанжин–баррем / Л. А. Каримова [и др.] // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 119–123.

38. **Литобиостратиграфическая** характеристика нижнемеловых отложений картировочной скважины ГГК-1. Часть 2: апт–альб / Л. А. Каримова [и др.] // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 123–125.

КАЙНОЗОЙСКАЯ ЭРАТЕМА

39. **Заїка, Ю. У.** Алахтонныя выкапнёвыя рэшткі ў адкладах верхняга кайназоя Беларусі. Папярэднія вынікі вывучэння. Частка I: ніжні палеазой / Ю. У. Заїка // Вестн. БарГУ. Биологические науки. Сельскохозяйственные науки. – 2023. – № 1 (13). – С. 4–22.

40. **Заїка, Ю. У.** Алахтонныя выкапнёвыя рэшткі ў адкладах верхняга кайназоя Беларусі. Папярэднія вынікі вывучэння. Частка II: дэвон – плейстацэн / Ю. У. Заїка // Вестн. БарГУ. Биологические науки. Сельскохозяйственные науки. – 2023. – № 2 (14). – С. 15–29.

41. **Маевская, А. Н.** Геологическое строение и минерально-сырьевой потенциал кайнозойских отложений Жабинковского района Брестской области / А. Н. Маевская, М. А. Богдасаров, Н. Н. Шешко // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 143–148.

42. **Особенности** строения геологических разрезов кайнозойских отложений территории Гомельской области / А. И. Павловский [и др.] // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 174–179.

Палеогеновая и неогеновая системы

43. **Особенности** залегания палеогеновых и неогеновых отложений на территории Могилевской области / М. П. Оношко [и др.] // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 170–173.

44. **Bahdasarau, M.** Paleogene amber placers in the adjacent territories of Poland, Belarus and Ukraine / M. Bahdasarau, M. Sheshka // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 63–76.

Четвертичная система (квартер)

45. **Василевская, Э. Ю.** Строение четвертичных отложений в районе расположения карьера «Векшичи» (Минский район) / Э. Ю. Василевская, Е. А. Кухарик // Устойчивое развитие: региональные аспекты : сб. тез. докл. XV Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых в рамках Года мира и созидания, Брест, 27–28 апр. 2023 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2023. – С. 10.

46. **Власов, Б. П.** Новые данные о строении котловины и динамике уровня озера Свитязь (Беларусь) в позднеледниковье и голоцене / Б. П. Власов, А. С. Лихачев, В. П. Зерницкая // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 52–56.

47. **Галкин, А. Н.** Геохимические особенности толщи четвертичных отложений на территории Витебской области / А. Н. Галкин, А. В. Матвеев // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2023. – № 2. – С. 81–89.

48. **Галкин, А. Н.** Геохимические особенности четвертичных отложений на территории Витебской области / А. Н. Галкин, А. В. Матвеев // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 71–76.

49. **Галкин, А. Н.** Типизация геологических разрезов четвертичных отложений территории Витебской области / А. Н. Галкин, А. В. Матвеев // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2023. – № 3. – С. 57–66.

50. **Еловичева, Я. К.** Особенности информативности геологических разрезов гляциоплейстоцена бассейна Немана как природное наследие запада Беларуси / Я. К. Еловичева // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 99–104.

51. **Еловичева, Я. К.** Особенности строения геологического разреза гляциоплейстоцена у д. Дробишки (бассейн Немана) в Беларуси / Я. К. Еловичева // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2023. – № 1. – С. 123–137.

52. **Зуй, В. И.** Буровая изученность и геологические профили четвертичных отложений Минской области / В. И. Зуй, Т. А. Жидкова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 113–117.

53. **Кухарик, Е. А.** Геолого-геоморфологические особенности территории балластного карьера «Радошковичи» / Е. А. Кухарик, Д. М. Барилевич // Молодежь в науке – 2023 : тез. докл. XX Междунар. науч. конф. молодых ученых (Минск, 20–22 сент. 2023 г.) : аграрные, биологические, гуманитарные науки и искусства, медицинские, физико-математические, физико-технические, химия и науки о Земле / Нац. акад. наук Беларуси, совет молодых ученых ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2023. – С. 739–741.

54. **Кухарик, Е. А.** Современные геологические процессы на территории юго-западной Беларуси / Е. А. Кухарик. – Минск : Беларуская навука, 2024. – 156 с.
55. **Литвинюк, Г. И.** Новые данные о геологическом строении и семенной флоре разреза Островец / Г. И. Литвинюк // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2023. – № 2. – С. 100–110.
56. **Литвинюк, Г. И.** О дриасовой флоре разреза Черный Берег (Витебская область) / Г. И. Литвинюк // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 139–143.
57. **Матвеев, А. В.** Рельеф территории Центральной Беларуси в муравинское межледниковье / А. В. Матвеев // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 47–52.
58. **Матвеев, А. В.** Современные геологические процессы на территории Белорусского Полесья / А. В. Матвеев // Природопользование. – 2023. – № 1. – С. 124–134.
59. **Плакс, Д. П.** О находках переотложенных остатков девонской ихтиофауны в четвертичных отложениях окрестностей Могилева / Д. П. Плакс, В. В. Мельников // Літасфера. – 2023. – № 1 (58). – С. 159–162.
60. **Рылова, Т. Б.** О беловежском возрасте плейстоценовых отложений, вскрытых скв. 1807 у д. Алексеевки Ивацевичского района Брестской области / Т. Б. Рылова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 187–191.
61. **Рылова, Т. Б.** Палинологическая характеристика разреза верхнеплейстоценовых отложений близ г. Островец / Т. Б. Рылова // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2023. – № 1. – С. 146–154.
62. **Соколов, А. С.** Пространственная дифференциация и состав верхнеплейстоцен-голоценовых отложений на территории Гомельской области / А. С. Соколов // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 87–94.
63. **Условия** залегания артефактов раннепалеолитического облика в четвертичных отложениях местонахождения Огово-1 (северо-западное Полесье, Республика Беларусь), предварительные данные / Ю. В. Селезнёв [и др.] // Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек : матер. Всероссийск. конф., посвящ. памяти А. А. Свиточа, Волгоград – Астрахань, 18–24 сент. 2023 г. / Отв. ред. Т. А. Янина [и др.]. – М. : Перо, 2023. – С. 164–167.
64. **Шидловская, А. В.** Краткий очерк истории палинологических исследований беловежского горизонта плейстоцена Беларуси / А. В. Шидловская // Літасфера. – 2023. – № 2 (59). – С. 38–46.
65. **Шидловская, А. В.** Некоторые аспекты изученности отложений борковского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси методом спорово-пыльцевого анализа / А. В. Шидловская // Молодежь в науке – 2023 : тез. докл. XX Междунар. науч. конф. молодых ученых (Минск, 20–22 сент. 2023 г.) : аграрные, биологические, гуманитарные науки и искусства, медицинские, физико-математические, физико-технические, химия и науки о Земле / Нац. акад. наук Беларуси, совет молодых ученых ; редкол.: В. Г. Гусаков (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2023. – С. 814–816.
66. **Шидловская, А. В.** Палинологическая изученность верхненаревских и беловежских (борковский подгоризонт) отложений плейстоцена на территории Беларуси / А. В. Шидловская, Т. Б. Рылова // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 208–212.
67. **Шидловская, А. В.** Палинологические особенности отложений борковского подгоризонта беловежского горизонта плейстоцена Беларуси на территории Брестской области / А. В. Шидловская // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26–28 окт. 2023 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: С. А. Лысенко (гл. ред.) [и др.]. – Брест : БрГУ, 2023. – Ч. 1. – С. 204–207.
68. **Шидловская, А. В.** Палиостратиграфия 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.
69. **Testing the Effect of Relative Pollen Productivity on the REVEALS Model: A Validated Reconstruction of Europe-Wide Holocene Vegetation** / M. A. Serge [et. al.] // Land. – 2023. – Vol. 12, Iss. 5. – P. 4–31.

ТАМАРА ГРИГОРЬЕВНА ОБУХОВСКАЯ (К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



Тамара Григорьевна Обуховская родилась 23 мая 1944 г. в д. Тихиничи Рогачевского района Гомельской области. Детство и школьная юность ее прошли в маленьком маентке Тенюковщина в десяти километрах от пос. Юратишки на Гродненщине. Еще в школьные годы у отличницы Томочки Боженковой (впоследствии Обуховской) появилось желание стать геологом. К тому же в местном книжном магазине оказалась научно-популярная книга А. С. Махнач и Л. Н. Вознячука «Геология Беларуси». В геологический институт г. Днепропетровска поступил товарищ по школе Добейко Иван, который был на год старше. Кстати, в будущем он стал открывателем архангельских алмазов в трубках взрыва. Однако в днепропетровский

вуз на геологический факультет принимали учащихся только с 18 лет и предпочтение отдавалось лицам мужского пола. Пришлось, во-первых, ждать почти два года, а во-вторых, узнать, что можно стать геологом и на геофаке Белорусского государственного университета.

Поступив в 1962 г. на геофак, Тамара с первого курса стала активным участником геологического кружка вместе с Константином Монкевичем и Эдуардом Высоцким. Кружком руководил Александр Васильевич Фурсенко. После четвертого курса укрепилось желание работать именно в геологии. В это лето вместе с Г. И. Кедо, В. К. Голубцовым и С. А. Кручком студентка Боженкова описывала керн нефтепоисковых скважин в кернохранилище пос. Калинковичи (Гомельская область), керн среднедевонских отложений на юге Туровской депрессии, хранящийся в украинской Турчинке, а также керн скважин Вязьма и Торопец в кернохранилище пос. Ярцево в России. Образцы горных пород появились в студенческом общежитии, а в августе вместо того, чтобы ехать домой на каникулы, Тамара дробила пробы, выделяя растительные остатки, обрабатывала их в лаборатории спорово-пыльцевого анализа, которой руководила Г. И. Кедо. С сентября она уже начала работать над своей дипломной работой «Среднедевонские отложения скважины Старобин 184 (Рачковичи)». Приходя после занятий в университете, до позднего вечера оставаясь в лаборатории, она изучала под микроскопом эти чудесные, открывающие мир прошлого оболочки ископаемых спор и акритарх. Они зарисовывались на бумаге, определялись с использованием большого количества литературы, а потом становились очевидными уровни изменения отдельных ассоциаций спор в вертикальном разрезе скважин. Это была уже стратиграфия.

В 1967 г. после окончания университета Боженкова (теперь уже Обуховская) была принята на работу в Институт геологических наук на должность инженера в спорово-пыльцевую лабораторию. Первой изученной скважиной была скв. Хобное 1, где последовательные изменения комплексов спор в разрезе нижнефаменских отложений позволили выделить отложения домановичского горизонта, наметить возможное подразделение задонского горизонта на слои, что позже было представлено в статье вместе с Г. И. Кедо. Так началась работа Тамары Григорьевны в дружном коллективе прекрасных специалистов: Г. И. Кедо, Н. С. Некрята, В. И. Авхимович, Л. В. Пискун и И. С. Дудиной, которых, к сожалению, уже нет в живых. Рядом в секторе палеонтологии работали В. К. Голубцов, С. А. Кручек, Л. С. Линник, Э. К. Демиденко. 60–80-е гг. прошлого века были расцветом в геологических, палеонтологических и узко палинологических исследованиях не только в Беларуси, но и на всей территории Советского Союза. Востребованность результатов исследований для практической, в частности, нефтяной геологии заставляла весь коллектив работать много и творчески.

В 1987 г. Т. Г. Обуховская, будучи уже очень опытным и знающим специалистом, защитила кандидатскую диссертацию на тему «Споровые комплексы франского яруса Припятской впадины и их стратиграфическое значение». В этой работе были охарактеризованы событийные уровни в кровле полоцкого и ливенского (чернинского) горизонтов, отмечен различный характер изменений споровых ассоциаций на данных рубежах, подтвержден стратиграфический перерыв на границе чернинского и домановичского горизонтов, проведено сопоставление отложений франского яруса Беларуси и одновозрастных образований Западной Европы. Одновременно уточнялась и дополнялась стратиграфия нижней соленосной толщи, подчеркивалось самостоятельное значение сколодинских слоев в составе тогда еще единого

евлановского горизонта. Впервые был выделен ряд палинофаций, характеризующих различные палеогеографические условия осадконакопления.

Начиная с 1989 г. Т. Г. Обуховская на протяжении более 10 лет участвовала в изучении стратиграфии девонских отложений Тимано-Печорской провинции – сначала по договорным работам БелНИГРИ с Ухтинской геологоразведочной экспедицией, а потом по творческому сотрудничеству с известными исследователями Тимано-Печорской провинции В. С. Сорокиным и В. В. Меннером. Полевые работы на Южном и Среднем Тимане, результаты изучения споровых комплексов позволяли уточнить и детализировать стратиграфическое расчленение девонских отложений данного региона.

Результаты научно-исследовательской работы Т. Г. Обуховской изложены в более чем 50 печатных работах, опубликованных в Беларуси, России, Польше и Бельгии. Т. Г. Обуховская – соавтор Стратиграфических схем девонских отложений Беларуси 1981 и 2010 гг. В 2001-м она была избрана членом-корреспондентом Международной подкомиссии по стратиграфии девона.

Коллеги и друзья сердечно поздравляют Тамару Григорьевну с юбилеем и желают ей оптимизма, крепкого здоровья и долгих лет жизни!

Коллеги, друзья, редколлегия

ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ ШИМАНОВИЧ (К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



13 февраля 2024 г. исполнилось 75 лет со дня рождения известного белорусского гидрогеохимика и гидрогеолога, ведущего научного сотрудника Института геологии государственного предприятия «НПЦ по геологии», кандидата геолого-минералогических наук Владимира Михайловича Шимановича.

Владимир Михайлович родился в Минске. После окончания средней школы в 1966 г. он поступил на геологическое отделение Белорусского госуниверситета. Спустя четыре года курс, где учился В. М. Шиманович, был переведен на геологический факультет Киевского госуниверситета им. Т. Шевченко, который окончил с отличием в 1971 г.

По распределению Владимир Михайлович был направлен в только что созданный академический Институт геохимии и геофизики в качестве стажера-исследователя. С тех пор он уже более полувека в белорусской геологической науке.

Еще во время учебы в Белорусском университете В. М. Шиманович проявил незаурядные творческие способности, которые в полной мере раскрылись уже в первые годы научной работы в группе геохимических критериев нефтегазоносности под руководством одного из ведущих гидрогеологов Беларуси А. В. Кудельского, ныне члена-корреспондента НАН Беларуси. В 1980 г. Владимир Михайлович становится лауреатом премии Ленинского комсомола Белоруссии в области науки и техники. Эта премия ему (совместно с ближайшим коллегой А. А. Махначом) была присуждена за цикл работ «Литогенез и гидрогеохимия девонских отложений Припятского нефтеносного бассейна (в связи с поисками месторождений нефти и оценкой перспектив народно-хозяйственного использования йодо-бромных рассолов)». В 1986 г. В. М. Шиманович защитил кандидатскую диссертацию «Рассолы Припятского прогиба: состав, свойства и происхождение».

Два приведенных выше названия работ Владимира Михайловича определяют, но полностью не раскрывают многообразия научной проблематики, которой он занимался и занимается. Действительно, главное и любимое направление его научных исследований, непревзойденным знатоком которого он является, – это геохимия подземных рассолов, включая представления об их природе, в том числе о взаимодействиях с горными породами. Сторонник седиментационно-литогенетической концепции формирования высокоминерализованных хлоридных кальциевых рассолов, В. М. Шиманович глубоко исследовал параллельные фундаментальные проблемы эволюции состава Мирового океана и природы хлоридного галогенеза. Широко также круг практических приложений в этой области, разработанных Владимиром Михайловичем или при его участии. В первую очередь, это оценка перспектив использования промышленных рассолов Беларуси в народно-хозяйственном комплексе, включающая, в частности, районирование территории Припятского прогиба по вероятности солевой кольматации скважин при подъеме рассолов на поверхность и технологическую схему комплексной экстракционной переработки рассолов. Много внимания уделено В. М. Шимановичем решению таких важных практических задач, как разработка гидрогеохимических критериев нефтегазоносности, оценка химической совместимости закачиваемых и пластовых рассолов в системах поддержания пластового давления на нефтяных месторождениях, анализ степени агрессивности рудничных вод на Старобинском месторождении калийных солей.

В последние 10–20 лет круг научных интересов В. М. Шимановича распространился на минеральные и пресные воды. Он занимается разработкой геохимической систематики природных вод, стал одним из создателей банка данных по химическому составу подземных вод Беларуси, разработал бальнеологическую классификацию минеральных вод и проекты соответствующих госстандартов.

Обладая широкой геологической эрудицией, Владимир Михайлович активно занимался не только глубоко гидрогеохимическими исследованиями. Он участвовал в работах, связанных с природой доломитовых, сульфатных и солевых пород Беларуси, с изучением геохимического поведения стабильных изотопов.

В. М. Шиманович – автор более 100 научных работ, в том числе 8 монографий, серии карт гидрогеологического содержания. Ряд его статей опубликован в ведущих журналах России и дальнего зарубежья («Литология и полезные ископаемые», «Геохимия», «Sedimentary Geology», «Geological Quarterly»),

он входил в состав группы сотрудников, которые были удостоены грантов Международного научного фонда (1994–1995) и ИНТАС-Беларусь (1997–1999).

Владимир Михайлович – член Ученого совета Государственного предприятия «НПЦ по геологии» и редколлегии журнала «Літасфера».

В. М. Шимановичу присущи высокая порядочность, доброжелательность, готовность прийти на помощь. Он – большой знаток камня, любитель природы и истории, прекрасный полевик.

Поздравляем Владимира Михайловича с юбилеем! От всей души желаем ему здоровья, успехов в работе, счастья!

Коллеги, друзья, редколлегия

ВАСИЛИЙ ИВАНОВИЧ ПАШКЕВИЧ (К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



25 января 2024 г. исполнилось 70 лет со дня рождения ведущего научного сотрудника лаборатории гидрогеологии и гидроэкологии Института природопользования НАН Беларуси, кандидата геолого-минералогических наук, известного специалиста в области гидрогеологии и гидрогеохимии Василия Ивановича Пашкевича.

В. И. Пашкевич родился в 1954 г. в г. Минске в семье рабочего. В 1976-м окончил геологический факультет Гомельского государственного университета по специальности «Гидрогеология и инженерная геология». Вся его трудовая деятельность связана с Национальной академией наук Беларуси. Работал в Институте геохимии и геофизики АН БССР стажером-исследователем, младшим научным сотрудником, научным сотрудником, старшим научным сотрудником. С 1993 по 1998 г. занимал должность ученого секретаря института, с 1998 по 2003 г. – заместитель директора по научной работе. С 2008-го работает в Институте природопользования НАН Беларуси в должности ведущего научного сотрудника в лаборатории гидрогеологии и гидроэкологии. Основные научные интересы В. И. Пашкевича сосредоточены на изучении геохимии пресных подземных вод Беларуси. На основании

обобщения материалов многолетних полевых и экспериментальных исследований он в 1986 г. во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук на тему «Геохимия пресных подземных вод зоны активного водообмена восточной части Белорусского Полесья в связи с мелиорацией». Научным руководителем был ведущий советский исследователь в области гидрогеохимии доктор геолого-минералогических наук С. Р. Крайнов.

После катастрофы на Чернобыльской АЭС В. И. Пашкевич занимался исследованиями радиоэкологического состояния подземных и поверхностных вод в зоне радиоактивного загрязнения, вопросами миграции радионуклидов в почвогрунтах 30-километровой зоны отчуждения. Совместно с учеными из Великобритании, Нидерландов, Украины и России участвовал в выполнении ряда международных проектов по этой проблематике.

С 2008 г. Василий Иванович выполняет исследования по оценке современного состояния подземных вод и степени их защищенности от радиоактивного загрязнения в районе строительства Белорусской АЭС в Островецком районе Гродненской области. В 2010 г. им были подготовлены и изданы гидрогеохимические карты грунтовых вод и подземных вод первых от поверхности напорных водоносных горизонтов и комплексов территории Беларуси масштаба 1 : 500 000. На протяжении 2010-х гг. под руководством В. И. Пашкевича проводились экспериментальные исследования геохимии поровых вод надсолевых и внутри-солевых отложений на месторождениях калийных солей как в Беларуси (Старобинское, Петриковское), так и за границей – в России (Гремячинское), Туркменистане (Гарлыкское) и Таиланде (Бамнет-Наронг). Результаты этих исследований используются для выделения водозащитных толщ на калийных рудниках. В период с 2018 по 2023 г. В. И. Пашкевич выполнял исследования по оценке геоэкологического состояния родников Беларуси. В настоящее время акцент научных исследований сосредоточен на изучении уникальной разновидности подземных вод – ультрапресных подземных вод, перспективных для использования как в бальнеологии, так и для бутылочного розлива в качестве питьевых; они являются геохимическими аналогами таких известных марок вод, как Spa (Бельгия), Voss (Норвегия) и др. Кроме этого, Василий Иванович занимается изучением воздействия подземных вод на особенности проявления современных геологических процессов на территории Беларуси.

В. И. Пашкевич является автором и соавтором более чем 200 научных работ, в том числе 7 монографий, принимает активное участие в работе республиканских и международных конференций по проблемам гидрогеологии и гидроэкологии. Василий Иванович большое внимание уделяет подготовке научных кадров высшей квалификации, выступая как в качестве эксперта и оппонента, так и руководителя. Под его научным руководством О. В. Васнёвой защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

В связи с семидесятилетним юбилеем коллеги и друзья сердечно поздравляют Василия Ивановича и желают ему крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов.

Коллеги, друзья, редколлегия

ПАМ'ЯЦІ ВУЧОНАГА

МАРАТ ГУМЕРОВИЧ ЯСОВЕЕВ
(К 75-ЛЕТІЮ СО ДНЯ РОЖДЕННЯ)

23 марта 2024 г. исполнилось бы 75 лет известному белорусскому ученому-гидрогеологу и геоэкологу Марату Гумеровичу Ясовееву, доктору геолого-минералогических наук, профессору, лауреату Государственной премии Республики Беларусь.

М. Г. Ясовеев родился 23 марта 1949 г. в г. Молодечно. В 1966 г. он поступил на геолого-географический факультет Белорусского государственного университета им. В. И. Ленина, а в 1969-м в составе группы однокурсников был переведен на геологический факультет Киевского государственного университета им. Т. Г. Шевченко. После окончания в 1971 г. университета по специальности «Гидрогеология и инженерная геология» М. Г. Ясовеев был распределен в БелГИИЗ (ныне «Геосервис»), где 3 года занимался инженерно-геологическими изысканиями. С 1975 г. он на научной работе в академическом Институте геохимии и геофизики (впоследствии Институт геологических наук). В 1983 г. защитил кандидатскую диссертацию «Гидрогеология и промышленные рассолы Припятского прогиба», а в 1998-м – докторскую «Подземная гидросфера Беларуси (строение, экология, рациональное использование)».

За цикл работ по изучению и освоению минеральных вод Республики Беларусь М. Г. Ясовеев с группой соавторов в 1998 г. был удостоен звания лауреата Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники.

С 1999 по 2003 г. Марат Гумерович заведовал лабораторией геоэкологических проблем географического факультета Белгосуниверситета, в 2003–2006 гг. был деканом факультета естествознания Белорусского государственного педагогического университета им. Максима Танка, до 2016 г. заведовал здесь кафедрой экономической географии и охраны природы. Вел учебные дисциплины: «Экология урбанизированных территорий», «Методика геоэкологических исследований», «Основы геоэкологии», «Общая геология», «Экологическая экспертиза и экологический мониторинг», «Занимательная геология».

С 2016 г. трудовая деятельность Марата Гумеровича связана с Международным государственным экологическим институтом им. А. Д. Сахарова БГУ, в котором он вначале работал в должности профессора кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики, а в 2018-м был назначен деканом факультета экологической медицины. Позже он был на должности профессора кафедры общей экологии, биологии и экологической генетики и кафедры экологического мониторинга и менеджмента факультета мониторинга окружающей среды.

Круг научных интересов М. Г. Ясовеева включал проблемы общей и региональной гидрогеологии, формирования и использования минеральных вод, охраны природы и мониторинга окружающей среды, экологического образования, туризма и рекреации, а также вопросы педагогики. Он – автор более 500 научных публикаций, в том числе 28 монографий, 30 учебников, учебных и учебно-методических пособий, многие из которых опубликованы как в Республике Беларусь, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья (Россия, Украина, Прибалтика, США, Германия). Маратом Гумеровичем подготовлено 5 кандидатов наук и более 30 магистрантов. Многие годы он был экспертом в Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь.

Марата Гумеровича Ясовеева нет с нами уже 5 лет. Но мы помним его, помним его добрую улыбку, высоко ценим и будем ценить его вклад в науку и образование.

Коллеги, друзья

НИКОЛАЙ ДМИТРИЕВИЧ МИХАЙЛОВ (К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)



27 июня 2024 г. исполнилось бы 70 лет белорусскому геохимику и минералогу Николаю Дмитриевичу Михайлову, кандидату геолого-минералогических наук.

Николай Дмитриевич родился в д. Светиловичи Ветковского района Гомельской области. После окончания с красным дипломом геологического факультета Гомельского госуниверситета в 1977 г. он был распределен в академический Институт геохимии и геофизики, где прошел путь от стажера-исследователя до ведущего научного сотрудника и руководителя группы изотопной геохимии. С 2008 г. Н. Д. Михайлов работал заведующим лабораторией литологии, петрологии и геохимии БелНИГРИ, затем – начальником и ведущим научным сотрудником от-

дела геологии и минерагении платформенного чехла Государственного предприятия «НПЦ по геологии».

Придя в Институт геохимии и геофизики, Н. Д. Михайлов занялся выявлением геохимических критериев постседиментационной рудной минерализации в осадочном чехле Беларуси, работая в лаборатории литологии и геохимии глубинных зон под руководством академика А. С. Махнача. Результаты этих исследований были оформлены в виде кандидатской диссертации (1988) и монографии «Рудные минеральные ассоциации девонских отложений Белоруссии» (1991). Главное внимание было уделено таким вторичным минералам, как пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, барит, кварц и кальцит. Эти минералы, изучение которых имеет большое значение для понимания истории осадочных толщ, по объему занимают незначительное место в породах. Чтобы их найти и изучить, нужно было перевернуть горы керна, а затем выделить в виде монофракций. Страстному полевику, трудолюбивому и целеустремленному человеку Н. Д. Михайлову это оказалось под силу.

Впоследствии его научные интересы сместились в область геохимии и минералогии девонского платформенного магматизма. Н. Д. Михайлов внес существенный вклад в представления о геохимической специфике, перспективах рудоносности и алмазоносности щелочных магматических пород северо-востока Припятского грабена, Северо-Припятского плеча и Жлобинской седловины. Его исследования по проблемам платформенного магматизма проводились в сотрудничестве с российскими, украинскими и другими зарубежными учеными. Результаты работ опубликованы в ведущих изданиях как Беларуси, так и за рубежом.

Большое место в научной работе Николая Дмитриевича занимали проблемы геохимии стабильных и радиоактивных изотопов. Вместе с коллегами он выполнил оригинальные исследования распределения стабильных изотопов углерода, кислорода и серы в карбонатных, сульфатных и сульфидных минералах карбонатных и эвапоритовых отложений девонской толщи Беларуси. Был в составе групп сотрудников, получивших по этой тематике гранты Международного научного фонда (1994–1995) и ИНТАС-Беларусь (1997–1999).

Несомненной заслугой Н. Д. Михайлова является создание им единственной в нашей стране и числившейся в международном реестре лаборатории по исследованию радиоуглерода и трития. Данные о концентрации этих радиоактивных изотопов в природных объектах Беларуси были использованы не только для датировки четвертичных отложений и археологических артефактов, но также для оценки защищенности пресных подземных вод и влияния Чернобыльской и Игналинской атомных станций на экологическое состояние среды.

Николай Дмитриевич – автор более 110 опубликованных научных работ, в том числе 8 монографий.

Н. Д. Михайлова нет с нами уже 10 лет. Но мы помним и будем помнить этого замечательного ученого и человека.

Коллеги, друзья

ХРОНІКА



С 5 по 7 декабря 2023 г. НПЦ по геологии и Белгосгеоцентр принимали с рабочим визитом делегацию государственного учреждения «Институт минеральных ресурсов» Университета геологических наук Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан.

В ходе визита состоялось совместное заседание, где обсуждались перспективные направления сотрудничества между предприятиями, касающиеся обмена опытом в составлении геологических карт с использованием специального программного обеспечения, разработки нормативно-правовых документов в области геологоразведки и др. В рамках достигнутых договоренностей будут предприняты действия для получения международных грантов с целью решения актуальных научных проблем в сфере геологии.

В ходе обсуждения перспектив сотрудничества достигнуты договоренности по основным вопросам научно-технического сотрудничества между организациями, а именно:

- совершенствование системы сбора и предоставления геологической информации;
- стимулирование обмена научно-исследовательскими работниками, реализация особых проектов, направленных на развитие исследовательской деятельности;
- обмен опытом по вопросам поиска и разведки месторождений полезных ископаемых на основе картирования территории;
- привлечение исследователей к работе в качестве экспертов по рецензированию научных работ и проектов.

По результатам встречи подписаны соглашения о сотрудничестве НПЦ по геологии и Белгосгеоцентра с государственным учреждением «Институт минеральных ресурсов» Университета геологических наук Министерства горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан.

24 января 2024 г. в Минске проходила отраслевая научно-практическая конференция «Гармонизация нормативного регулирования научно-обоснованных мер экологической безопасности и адаптации к изменению климата в рамках Союзного государства», приуроченная ко Дню белорусской науки. Участие в конференции от Беларуси приняли представители Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, НПЦ по геологии, БелНИЦ «Экология», Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, ЦНИИКИВР, Белгидромет, Международный государственный экологический институт БГУ, БГТУ. С докладами от Российской Федерации выступили представители учреждения «Гидроспецгеология», Государственного гидрологического института и Научно-производственного объединения «Тайфун». В ходе работы отраслевой научно-практической конференции обсуждены вопросы науч-

но обоснованных мер экологической безопасности и адаптации к изменению климата в рамках Союзного государства, о тенденциях в области адаптации к изменению климата, развитие белорусско-российского сотрудничества в части мониторинга подземных вод с целью охраны и рационального использования трансграничных подземных водных объектов, перспективы подготовки кадров для системы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Президиумом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь 21 февраля 2024 г. утверждено решение Совета по защите диссертаций К 12.01.01 о присуждении ученой степени кандидата геолого-минералогических наук Хилькевич Екатерине Викторовне. Защита диссертации Хилькевич Екатерины Викторовны «Геологическое строение, морфология и формирование субгляциальных водно-эрозионных ложбин Белорусского Поозерья в квартере» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.01.01 «Общая и региональная геология» состоялась 16 ноября 2023 г.

С 8 по 13 апреля 2024 г. в Минске на базе факультета географии и геоинформатики состоялась Международная научно-практическая конференция «I Белорусский географический конгресс». В работе конференции с обсуждением современных проблемных вопросов геологии приняли участие представители геологической отрасли Беларуси и сопредельных государств: НПЦ по геологии, Института природопользования, Белорусского государственного университета, Витебского государственного университета, Белорусского национального технического университета, РУП «Производственное объединение “Белоруснефть”», Института геологии и геохронологии докембрия РАН, Института геологии Карельского научного центра РАН, Института динамики геосфер, Института физики Земли, Московского государственного университета, Российского государственного педагогического университета, Таджикского государственного педагогического университета.

В рамках **I Белорусского географического конгресса** состоялось торжественное заседание Совета факультета географии и геоинформатики БГУ, посвященное 90-летию факультета и 70-летию Белорусского географического общества, на котором присутствовало более 200 человек, включая профессорско-преподавательский состав, приглашенных гостей из разных научных учреждений, а также гостей I Белорусского географического конгресса. В торжественной обстановке были вручены награды выдающимся работникам факультета и представителям организаций, с которыми факультет долго и плодотворно сотрудничает в научно-исследовательском и образовательном направлениях.

Конференция предоставила уникальную возможность для научного и профессионального сообщества обсудить широкий спектр актуальных тем. В ходе работы секции «Современные проблемы геологии» обсуждены результаты исследований нефтегазоносности территории Припятского прогиба, перспектив использования георадиолокационного зондирования в инженерно-геологических изысканиях, особенностей эколого-геологических систем массивов торфяных грунтов, изучения подземных вод бассейна р. Западный Буг, особенностей развития флювиальных процессов на территории Беларуси; рассмотрены проблемы геологии стран Южной Африки, вопросы геологического картографирования четвертичных отложений; представлены варианты применения искусственного интеллекта в геологии, расчеты устойчивости откосов и склонов с учетом сейсмических воздействий; региональные закономерности развития Восточно-Европейской платформы и др.

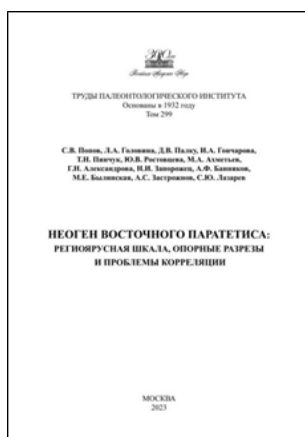
С 25 по 26 апреля 2024 г. в Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины проведена II Международная научно-практическая конференция «Тенденции и проблемы развития наук о Земле в современном мире», участие в которой приняли представители научного сообщества 50 организаций Беларуси, России, Кыргызстана, Азербайджана, Китая.

В работе секции «Общая и региональная геология» представлены доклады научной геологической общественности Беларуси из НПЦ по геологии, Белорусского национального технического университета, Белорусского государственного университета, Витебского государственного университета, Гомельского государственного университета, Гомельского государственного технического университета, БелНИПИнефть, НГДУ «Речицанефть», ОАО «Белгорхимпром», а также исследователей из Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Института геологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) и Азербайджанского архитектурно-строительного университета (г. Баку).

Участниками секции рассмотрены актуальные проблемы разведки и разработки нефтяных месторождений с применением современных технологий, результаты изучения химического состава полезных ископаемых; представлены результаты регионального геологического изучения недр для прогнозирования месторождений полезных ископаемых, оценка глубины промерзания грунта на оползневых склонах и предложены противооползневые мероприятия, обсужден ряд вопросов по литологическим и палеонтологическим особенностям формирования отложений Беларуси.

В рамках конференции прошел фотоконкурс «Взгляд через объектив фотокамеры» по четырем номинациям («География в лицах», «Чудеса природы», «Геологические картины», «Снимай науку») и экскурсия по маршруту «Нефтяной» с выездом в музей РУП «Белоруснефть».

Рэдкалегія



Неоген Восточного Паратетиса: региональная шкала, опорные разрезы и проблемы корреляции / С. В. Попов [и др.]. – М. : РАН, 2023. – 504 с.

На основании изучения стратотипических и опорных разрезов неогена, их биотической характеристики, палеомагнитных и седиментологических данных проведена ревизия стратиграфической шкалы Восточного Паратетиса, представлены новые данные по корреляции ее региональных подразделений с Центральным Паратетисом и стратотипами Средиземноморья.

В разделе «Региональная шкала Восточного Паратетиса» рассматривается история выделения и краткая характеристика горизонтов региональной шкалы, ставших позднее регионарусами, их исторические стратотипы и подразделение на слои и подъярусы. В разделе «Опорные разрезы» рассмотрены наиболее полные, палеонтологически охарактеризованные разрезы, как правило, охватывающие несколько регионарусов, на которых обсуждаются положение и критерии проведения их границ. В заключительных разделах приведены обзоры по наиболее важным группам фитопланктона и фауны, наземной растительности, магнитостратиграфии, астрономически обусловленной цикличности осадконакопления, возможности корреляции и датирования разрезов по этим данным, сопоставление с Центральным Паратетисом и стратотипами Средиземноморья. В качестве заключения приведены основные результаты ревизии стратиграфической схемы неогена Восточного Паратетиса.



Пущаровский, Д. Ю. В кругу университетских геологов. Мысли о геологии, образовании, коллегах и друзьях. К 270-летию Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова / Д. Ю. Пущаровский. – М. : ГЕОС, 2023. – 297 с.

Автор на протяжении 20 лет руководил геологическим факультетом МГУ. В книге собраны его устные доклады перед общественностью об актуальных научных проблемах, выступления в студенческих коллективах, интервью ряду СМИ, предисловия к редактировавшимся им изданиям, приветствия и поздравления организациям и коллегам по случаю юбилейных дат и многое другое. Публикуемые материалы не только дают представление о жизни одного из важнейших факультетов МГУ, но и позволяют читателю познакомиться с разноплановой работой университетского преподавателя, а также его мыслями, связанными с развитием образования и науки.

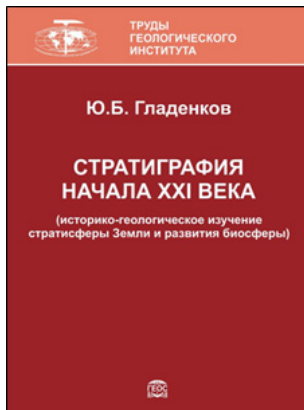
Книга адресована тем, кто не замыкается в узкой области научных исследований, не ограничивает свои контакты с молодежью лишь проведением занятий по конкретному курсу, а интересуется различными аспектами университетской жизни.



Геотермия: XX–XXI век / М. Д. Хуторской [и др.]. – М. : ГЕОС, 2023. – 436 с.

В книге дан подробный обзор достижений в области изучения теплового поля Земли за столетний период исследований. Освещаются вопросы изучения теоретических проблем геотермии, регионального изучения параметров теплового поля на континентах и в океанах, развитие картографических методов отображения температуры и теплового потока в литосфере, аппаратурно-методические разработки, а также прикладные аспекты геотермии: термофлюидодинамический мониторинг, применение термической разведки рудных и нефтяных месторождений и использование тепла Земли как альтернативного источника энергии.

Для профессиональных геологов, геофизиков и нефтяников, а также аспирантов и студентов старших курсов геолого-геофизических факультетов.



Гладенков, Ю. Б. Стратиграфия начала XXI века (историко-геологическое изучение стратисферы Земли и развития биосферы) / Ю. Б. Гладенков. – М. : ГЕОС, 2023. – 184 с.

Книга посвящена теоретическим и практическим проблемам современной стратиграфии. В ее 19 разделах раскрываются различные стороны стратиграфических исследований, их динамика и направленность, новые идеи и подходы. В книге подчеркивается, что стратиграфия опирается прежде всего на историко-геологическую основу. Специальное место уделено мультидисциплинарному содержанию современной стратиграфии – анализу значимости более 15 стратиграфических методов и громадному прикладному значению этого раздела науки. Каждая стратиграфическая схема при этом является выводом из геологической истории. На этой базе строятся местные, региональные и глобальные стратиграфические схемы. Отмечается, что стратиграфия в XXI в. все больше становится стратиграфией экосистем, отражающей этапность развития «былых биосфер», что позволяет называть ее «биосферной». Основными задачами стратиграфии на ближайшие десятилетия будут детализация стратиграфических схем и расшифровка геологических событий. Именно на этой основе может быть решена фундаментальная проблема геологии – естественная периодизация геологической истории Земли и обеспечены потребности геологического картирования.

Для геологов, стратиграфов, палеонтологов и студентов-геологов.



Короновский, Н. В. Общая геология : учебник / Н. В. Короновский. – 5-е изд. – М. : Изд-во Московск. ун-та, 2023. – 606 с.

В учебнике отражены современные данные и представления о Земле как планете, ее месте в Солнечной системе и во Вселенной. Излагаются основные сведения о внутреннем строении Земли и методах его изучения, о геофизических полях Земли и процессах, изменяющих ее поверхность. Рассмотрены методы определения относительного и абсолютного возраста горных пород и геохронологическая шкала, а также главные эндогенные и экзогенные процессы, тектоника литосферных плит, техногенное воздействие на геологическую среду и начальные понятия нелинейной геологии. Использование графиков, таблиц и рисунков облегчает усвоение материала. Для каждой главы дается список рекомендуемой дополнительной литературы.

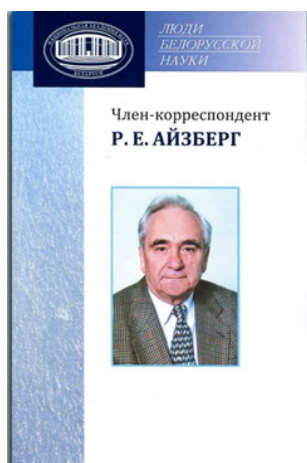
Учебник предназначен для студентов геологических специальностей и всех, кто интересуется геологией.



Кухарик, Е. А. Современные геологические процессы на территории юго-западной Беларуси / Е. А. Кухарик. – Минск : Беларуская навука, 2024. – 156 с.

В монографии представлены результаты выполненного впервые для территории юго-западной Беларуси комплексного исследования проявлений современных геологических процессов. Охарактеризованы условия и факторы развития эндогенных (активизация разрывных нарушений, кольцевых и локальных неотектонических структур, вертикальных и горизонтальных движений земной коры, сейсмичности), экзогенных (водно-эрозийные, гравитационные, карстовые, суффозионные, биогенные, эоловые) и техногенных геодинамических процессов. На основании обобщения фондовых материалов и данных полевых исследований разработана генетическая классификация экзогенных и техногенных процессов, а по отдельным их группам составлены оригинальные схемы, показывающие площадное распространение. Новые данные позволили оценить последствия проявления современных геологических процессов и выполнить районирование территории региона по особенностям и вероятности их развития, степени комфортности геологической среды для жизнедеятельности населения.

Предназначена для широкого круга специалистов в области наук о Земле, студентам, магистрантам, аспирантам и докторантам, обучающимся по специальностям геологического и географического профиля.



Член-корреспондент Р. Е. Айзберг / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования, Центр. науч. б-ка им. Якуба Коласа ; сост.: Я. Г. Грибик, Л. П. Чистая. – Минск : Беларуская навука, 2024. – 214 с.

В издании отражены основные результаты научной, научно-педагогической деятельности члена-корреспондента НАН Беларуси, доктора геолого-минералогических наук, профессора Р. Е. Айзберга. Указаны наиболее важные вехи в жизни, приведены воспоминания друзей и коллег, представлен список его научных трудов.

ПРАВИЛЫ ДЛЯ АЎТАРАЎ

I. У часопісе «Літасфера» публікуюцца арыгінальныя (раней не апублікаваныя) артыкулы, якія адпавядаюць тэматыцы часопіса. Да артыкула, які накіроўваецца 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 прадастаўляецца 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 прадастаўляецца ўнізе па цэнтры. Занумараваныя 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 індэкса, 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 словы 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 словы (5–10 слоў) на дзвюх іншых афіцыйных мовах часопіса.

Анатацыя (аўтарскае рэзюмэ) павінна каратка прадстаўляць вынікі працы і быць інфарматыўнай, структураванай, зразумелай у адрыве ад асноўнага тэксту артыкула.

Ключавыя словы – 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 аб'ём артыкула таксама ўваходзяць табліцы і малюнкi, 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 шрыфтам з абзацным водступам, выраўноўванне па цэнтры.

Спіс выкарыстаных крыніц (рэкамендуецца да 40 спасылак) афармляецца ў адпаведнасці з патрабаваннямі Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь (ДАСТ 7.1-2003). Цытаваная літаратура прыводзіцца агульным спісам у алфавітным парадку, спасылкі ў тэксце даюцца парадкавым нумарам у квадратных дужках (напр., [1]), раздзяляльнік – кропка з коскай; спасылкі на неапублікаваныя працы не дапускаюцца. У выпадку пералічэння некалькіх крыніц у адной спасылцы яны падзяляюцца кропкай з коскай (напр., [1; 2; 3; 4 і г. д.]).

У канцы артыкула прыводзяцца дзве анатацыі ў наступным парадку: у рускамоўных артыкулах – спачатку на беларускай мове, затым на англійскай; у англамоўных – спачатку на беларускай, потым на рускай; у беларускамоўных – спачатку на рускай, потым на англійскай. Пасля тэксту анатацыі прыводзяцца ключавыя словы на адпаведнай мове (5–10 слоў, звычайнае напісанне, без абзацнага водступу, выраўноўванне па шырыні).

IV. Электронны варыянт артыкула прадастаўляецца на электронным носьбіце або дасылаецца па электроннай пошце ў рэдакцыю часопіса – litasfera@geologiya.by. Тэкст павінен быць набраны ў фармаце, які падтрымліваецца праграмай Microsoft Word (рэкамендуецца фарматы *.doc, *.docx), формулы – у рэдактары MathType. Устаўка сімвалаў выконваецца праз меню «Устаўка / Сімвал», верхнія і ніжнія індэксы (C^2 , C_4) – праз меню «Шрыфт / Верхні індэкс», «Шрыфт / Ніжні індэкс». Для вылучэння тэкставых фрагментаў выкарыстоўваецца паўтлусты шрыфт ці курсіў. Для раздзялення дзесятковых дробаў выкарыстоўваецца коска (у артыкулах на англійскай мове – кропка).

V. Чорна-белыя і каляровыя малюнкi ўстаўляюцца ў тэкст артыкула пасля першай згадкі, а таксама даюцца ў выглядзе асобных файлаў у высокім распазнаванні (не менш за 300 пунктаў на цалю). Пажадана таксама падаваць іх у фармаце арыгінала (Corel, дыяграмы ў Excel, Origin Pro і г. д.). Тэкст на малюнках набіраецца асноўнай гарнітурай, прычым напісанне сімвалаў (грэчаскае, лацінскае) павінна адпавядаць іх напісанню ў тэксце. Памер кегля сувымерны з памерам малюнка. Фатаграфіі падаюцца ў выглядзе файлаў (tif, jpg, png, eps) і ў надрукаваным выглядзе.

VI. Артыкул, які паступіў у рэдакцыю, накіроўваецца 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 рэдакцыя не прымаюцца.

Матэрыялы для публікацыі трэба накіроўваць на адрас: 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). Цитируемая 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 присылается 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 , 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.

Key words 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 key words 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

1 (60)

2024

Камп'ютарная вёрстка *А. А. Мікулевіч*
Карэктар *Н. У. Козырава*

Падпісана ў друк 23.05.2024. Фармат 60×90/8.
Папера каландраваная. Друк лічбавы.
Ум. друк. арк. 25,75. Ул.-выд. арк. 16,3.
Наклад 100 экз. Заказ 24349.

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.

Паліграфічнае выкананне:
таварыства з абмежаванай адказнасцю «Колорград».
ЛП № 02330/474 ад 08.09.2015.
Зав. Веласіпеды, 5-904, 220033, Мінск.

+375 17 361 91 40
post@segment.by
segment.by

