

УДК 552.5:550.834

ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ И ГАЗА В КЛИНОФОРМАХ КОЛГАНСКОЙ ТОЛЩИ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ



И. А. ДОВГАНЬ,
инженер лаборатории, Dovgan_IA@pers.spmi.ru



А. В. МАРТЫНОВ,
доцент, канд. геол.-минерал. наук



Е. И. ГРОХОТОВ,
зам. научного руководителя по фундаментальным исследованиям

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
Санкт-Петербург, Россия

Введение

В условиях истощения традиционных ресурсов углеводородов и высокой выработанности запасов месторождений в основных нефтегазодобывающих регионах [1] перспективы поисков новых залежей связывают с малоизученными территориями [2–4], районами со сложными климатическими и экономическими условиями [5, 6] и отложениями, обладающими сложным геологическим строением [7–9]. Следует отметить, что стратегия развития минерально-сырьевой базы России до 2035 г. предполагает в качестве перспективного направления для модернизации экономики вовлечение в эксплуатацию трудноизвлекаемых запасов нефти и газа [10]. На сегодняшний день потенциальными объектами для поисков углеводородного сырья являются залежи сложного геологического строения [11], отложения на больших глубинах [12, 13] и в древних толщах [14–16], низкопроницаемые высокоуглеродистые сланцевые толщи [17–19], а также отложения фундамента и переходного комплекса [20–22].

Представлены результаты исследований отложений колганской толщи позднефранско-раннефаменского возраста в пределах Царичанской площади Колгано-Борисовской впадины, позволившие уточнить особенности геологического строения рассматриваемой территории. Показано, что колганская толща характеризуется сложным строением, обусловленным клиноформенным залеганием песчаных пластов-коллекторов различного генезиса. Для построения геологической модели использованы данные геофизических исследований скважин, сейсморазведочных работ в формате 3D и керна. В кровельной части толщи, по данным сейсмofациального анализа, выявлены зоны высокочемких коллекторов, отнесенных к конусам выноса, оконтурены литологические ловушки неструктурного типа, выполнена ресурсная оценка локальных объектов. Выделенные поисковые объекты ранжированы по перспективности с учетом сопоставления прогнозных эффективных толщин, значений пористости и результатов ресурсной оценки.

Ключевые слова: колганская толща, фации, геофизические исследования, сейсмofациальный анализ, конусы выноса, коллекторы, углеводороды

DOI: 10.17580/gzh.2024.09.01

Объект исследования

Одним из таких объектов в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции является колганская толща, представленная сложным переслаиванием терригенных отложений алевропесчаного, песчаного и аргиллитового состава среди верхнедевонского карбонатного массива. Область развития колганских отложений оконтурена в пределах Колгано-Борисовского палеопроггиба, образованного вследствие опускания южной части Восточно-Оренбургского палеоподнятия в позднефранское время [23]. Перспективы отложений колганской толщи связывают главным образом с южными склонами Восточно-Оренбургского сводового поднятия и Павловской седловиной [24]. В пределах Колгано-Борисовской впадины с колганским резервуаром сосредоточено около 74,4 % запасов углеводородов среднефранско-турнейского нефтегазоносного комплекса [25] и около 40 % разведанных запасов Восточно-Оренбургского нефтегазоносного района [26]. В основании толщи выделяют базальный пласт $D_{\text{кт}}$ ($D_{\text{кт}}$), продуктивный на Филатовском, Вахитовском, Царичанском, Донецко-Сыртовском, Дачно-Репинском, Кариновском, Майорском и Восточно-Долиновском месторождениях Оренбургской области [26] (рис. 1), терригенные отложения колганской толщи выявлены также в пределах Западно-Оренбургской

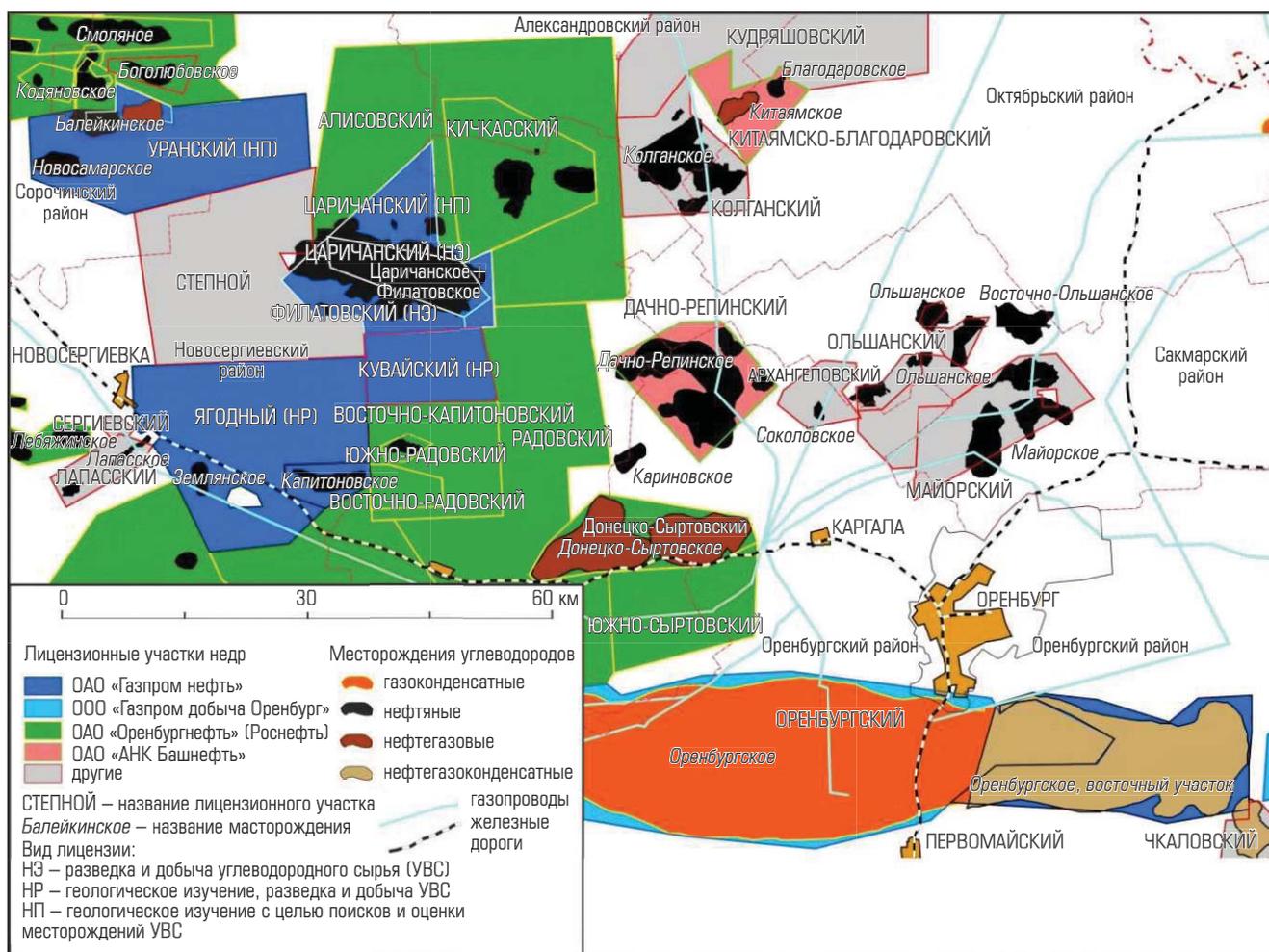


Рис. 1. Обзорная карта месторождений углеводородов юго-востока Оренбургской области [30]

площади и на других участках Оренбургской области. Наиболее полно отложения колганской толщи изучены на Донецко-Сыртовском, Вахитовском, Дачно-Репинском и Царичанском-Филатовском месторождениях [27–30].

Актуальность изучения колганской толщи обусловлена истощением традиционных запасов углеводородов разрабатываемых месторождений. В условиях развитой инфраструктуры района исследований особый интерес представляет разработка пропущенных залежей и залежей, обладающих сложным геологическим строением в средней и верхней частях колганской толщи.

Сложность геологического строения колганской толщи связана с высокой латеральной неоднородностью фильтрационно-емкостных свойств песчаных пластов и неоднозначностью их корреляции из-за отсутствия реперов внутри толщи. По результатам интерпретации геофизических исследований скважин (ГИС) песчаные пласты характеризуются сложным полиминеральным составом, аномально высокой радиоактивностью пород, неоднородной структурой порового пространства, высокой минерализацией пластовых вод [31]. Необходимость

фациального анализа отложений колганской толщи также объясняется тем, что основной объем нефти сосредоточен в песчаных коллекторах дельтовых протоков и устьевых баров, требующих детального рассмотрения фациальной зональности при поиске залежей углеводородов [32, 33].

Несмотря на большое число скважин, вскрывших отложения колганской толщи, многие годы ее происхождение и геологическое строение являлись объектом дискуссий для исследователей. На сегодняшний день большинством ученых принята клиноформенная модель формирования колганской толщи, что имеет большое значение для прогнозирования распространения залежей, построения геологических и гидродинамических моделей. Эта модель также отражена в работе Т. Д. Шибиной, Л. П. Гмид, Н. В. Танинской и Ю. И. Никитина, где авторами выделены конусы выноса в пределах Вахитовского лицензионного участка [34]. Следует отметить, что ученые, признающие клиноформенное строение колганской толщи, придерживаются различных подходов к образованию клиноформ.

Наряду с представлениями о клиноформенном строении толщи существует концепция формирования колганской толщи,

связанная с условиями авандельты [35]. Помимо этого, существует гипотеза, что колганская толща заполняет континентальную котловину [36]. Большинство современных исследований объясняют механизм формирования отложений кровельной пачки колганской толщи концепцией турбидитных потоков. При этом большинство авторов подчеркивают неизвестность условий седиментации, определения источника сноса материала, фациальной дифференциации [36, 37] и влияния тектонических процессов [38]. Анализ имеющихся представлений о геологическом строении и условиях формирования колганской толщи подчеркивает неопределенность представлений о геологическом строении толщи и условиях ее формирования.

Следует отметить, что большинство исследований литологического состава колганской толщи основаны на ограниченных данных керна и ГИС. В целях латерального прогноза распространения потенциальных коллекторов колганской толщи необходимо применение современных методов высокочастотных сейсморазведочных наблюдений, применяемых для прогноза коллекторских свойств с помощью анализа сейсмических атрибутов и выделения сейсмофаций, AVO-анализа и его модификаций, например EEI [39] и седиментационного моделирования [40]. Применение современных методов оконтуривания песчаных тел и прогноза в них фильтрационно-емкостных свойств необходимо как при поиске залежей нефти и газа, так и при построении геолого-гидродинамических моделей, в том числе для оценки анизотропии проницаемости [41].

Целью исследований является уточнение и детализация геологического строения отложений колганской толщи в пределах Царичанской площади Колгано-Борисовской впадины. Основные задачи исследований – анализ геолого-геофизической информации, включающей данные 3D-сейсморазведки, ГИС и керна, сейсмофациальный анализ, выделение фациальных зон и депозитов высокоемких песчаных коллекторов для оконтуривания литологических ловушек и оценки перспектив нефтегазоносности.

Материалы и методы исследований

Исходными данными для изучения геологического строения колганской толщи являются данные ГИС, куб сейсморазведки в формате 3D и результаты исследований керна скважин в пределах Царичанской площади.

Методика анализа геологического строения отложений колганской толщи заключается в комплексном анализе данных ГИС, 3D-сейсморазведки и керна материала для восстановления условий осадконакопления. Поскольку имеющегося объема керна материала явно недостаточно для изучения геологического строения колганской толщи, основой исследования послужили результаты ГИС. Фациальная диагностика песчаников по данным ГИС выполнена на основе

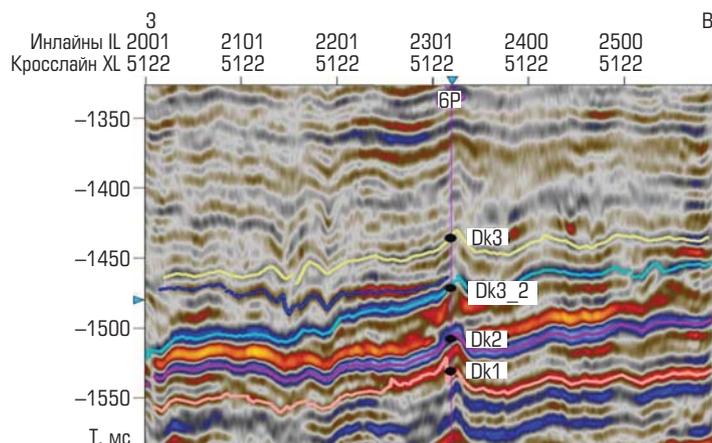


Рис. 2. Временной разрез отложений колганской толщи

BP – поисковая скважина. Отражающие горизонты:

Dk3 – приурочен к кровле ливенского горизонта верхнего девона;

Dk3_2 – соответствует кровле воронежского горизонта верхнего девона;

Dk2 – приурочен к кровле мендымской глинистой пачки франского яруса верхнего девона;

Dk1 – отражение сформировано в кровле отложений доманикового горизонта франского яруса

верхнего девона

методики В. С. Муромцева; дифференциация фациальных комплексов по площади и в разрезе основана на результатах интерпретации сейсморазведки в формате 3D и сейсмофациального анализа.

Результаты исследований

Колганская толща слагает одноименный сейсмостратиграфический комплекс и характеризуется клиноформным строением песчаных циклитов (рис. 2). По данным сейсмостратиграфического анализа выделяют три циклита [26], сложенные чередующимися по латерали терригенными и карбонатными клиноформами. Проградация клиноформ происходит в северном и северо-западном направлениях от Восточно-Оренбургского поднятия в направлении глубоководного бассейна.

Циклит С1, по данным керна, сложен песчаниками от мелко- и тонкозернистых до среднезернистых, массивными и с волнистой слоистостью. Осадконакопление происходило в условиях мелководно-морского шельфа, выделяют фациальные зоны пляжа и прибрежного бара. Отложения циклита в пределах северной части лицензионного участка рассматривают как малоперспективные; это обусловлено тем, что в северном направлении (в направлении увеличения глубин седиментации) происходит выклинивание терригенных отложений нижнего циклита и замещение более плотными разностями. Следует отметить, что к отложениям циклита С1 в центральной части лицензионного участка приурочен продуктивный пласт $D_{кт}$, отложения – от песчаников тонко- и мелкозернистых с редкими прослоями глинистого материала до

линзовидного чередования аргиллитов, алевролитов и тонкозернистых алевролитовых песчаников.

Циклит С2, по данным керна и результатам анализа ГИС, представлен преимущественно карбонатно-терригенными отложениями (глинистые известняки и аргиллиты), обстановка осадконакопления отнесена к мелководному шельфу, по данным исследований в карбонатных породах колганской толщи также выделяют биогермные постройки в пределах соседней Кичкасской площади [34].

Особый интерес для изучения представляют отложения циклита С3, сложенные, предположительно, фациями конусов выноса. Концептуальная модель осадконакопления верхнего циклита колганской толщи [42] представлена на **рис. 3**.

Данная концептуальная модель осадконакопления послужила основой для формирования априорной модели осадконакопления песчаных отложений циклита С3 в верхней части колганской толщи. По результатам анализа данных ГИС по методике В. С. Муромцева [43] в песчаниках циклита С3 выделены отложения конусов выноса и разрывных течений (**рис. 4**).

По результатам структурной интерпретации данных сейсморазведки восстановлен палеорельеф к началу осадконакопления циклита С3, согласно которому снос терригенного материала происходил в северо-западном направлении,

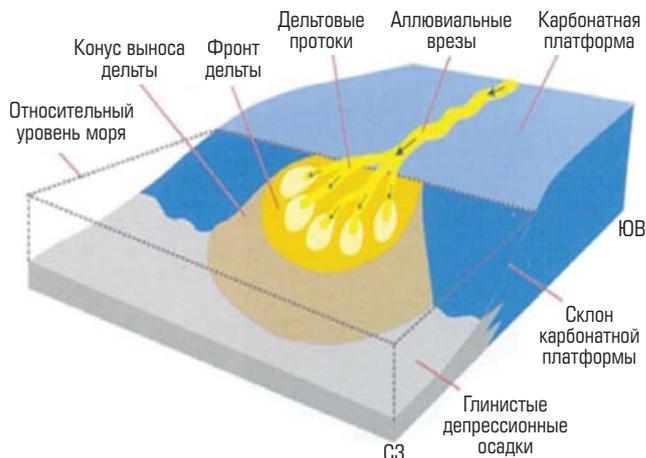


Рис. 3. Концептуальная модель формирования отложений турбидитов С3 [42]

выявленное направление сноса согласуется с региональной моделью осадконакопления толщи. Считается, что колганские отложения сложены продуктами размыва девонских и додевонских отложений палеосуши, по результатам геохимических исследований [44] установлено присутствие вулканогенных

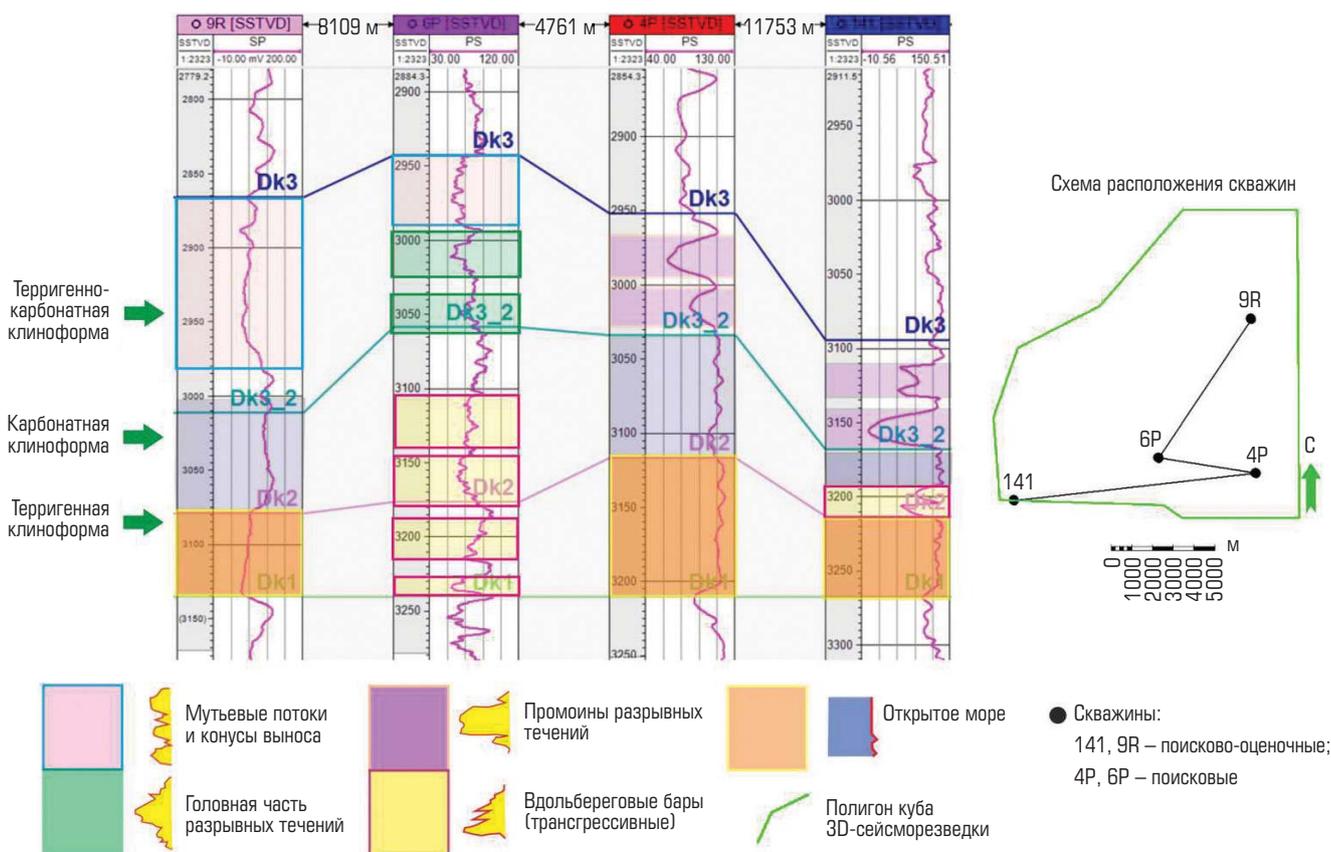


Рис. 4. Выделение фаций в песчаниках циклита С3

образований. Источником сноса является Соль-Илецкая островная суша, с которой обломочный материал поступал на побережье прилегающего мелководного бассейна [25]. Снос терригенного материала обусловлен тектонической

активностью в среднедевонское время в период горстообразования и подъема Соль-Илецкого выступа и погружения южного окончания Восточно-Оренбургского поднятия. Амплитуда поднятия достигала 2500 м. Взаимное движение блоков контролировалось Оренбургским глубинным разломом [45]. Отмечается, что широкое распространение неструктурных ловушек, сложенных песчаными телами, обусловлено тем, что наряду с классическими формами транспортирования осадочного материала на территории широко проявлены штормовые и подводно-оползневые процессы, определяющиеся периодическими эвстатическими колебаниями уровня моря

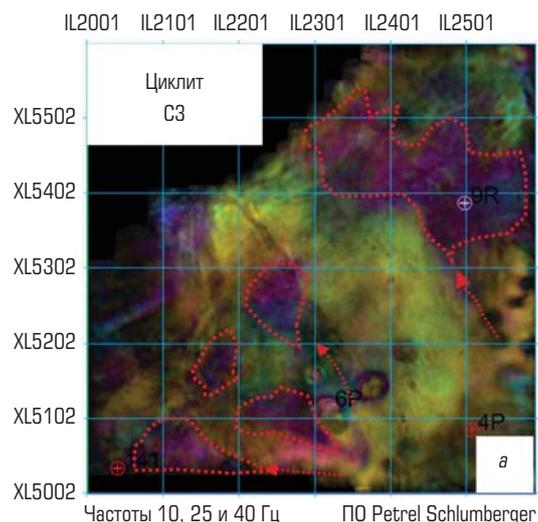
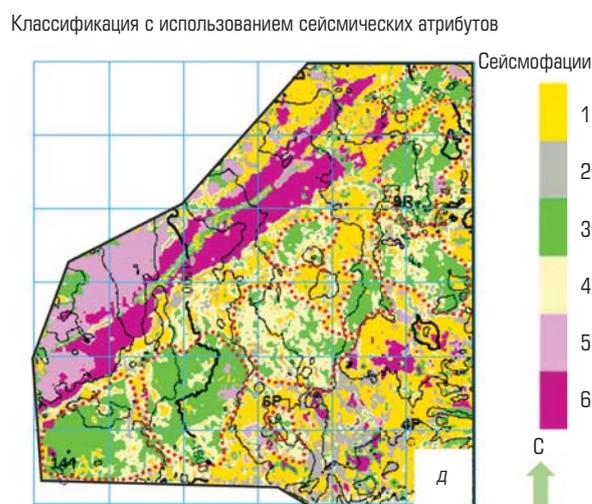
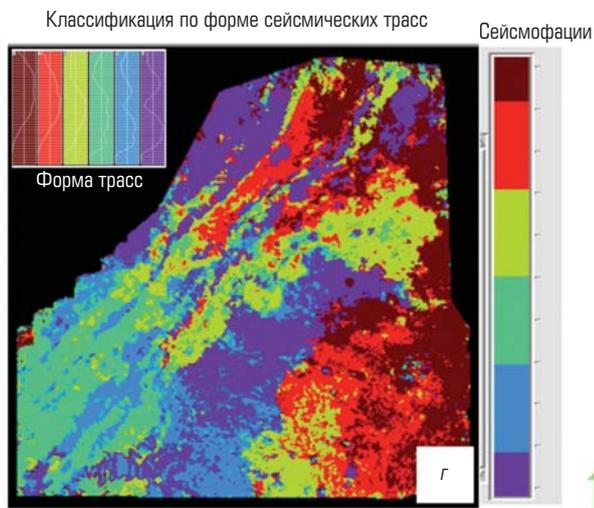
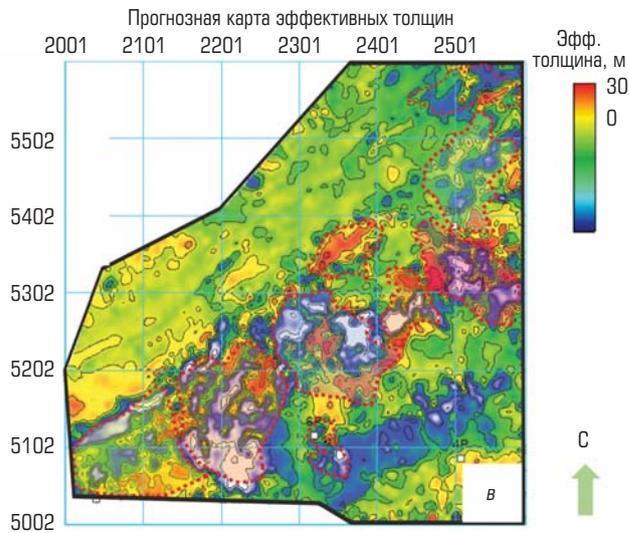
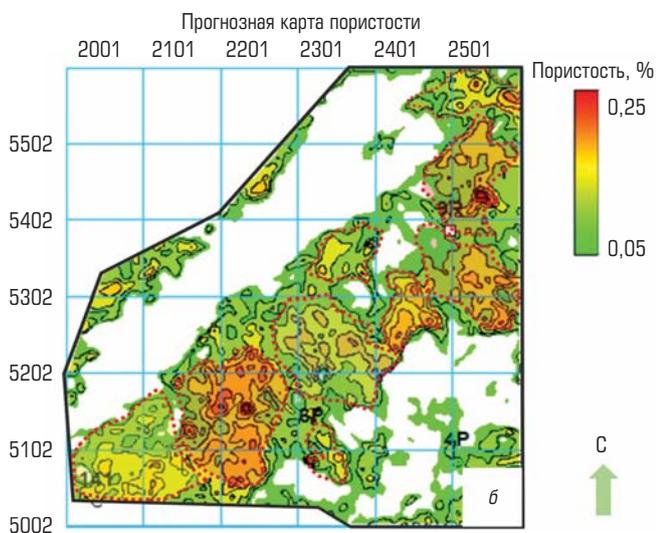


Рис. 5. Результаты анализа данных сейсморазведочных работ:

а – контуры предполагаемых конусов выноса по данным спектральной декомпозиции; *б, в* – прогнозные карты пористости и эффективных толщин верхней части колганской толщи соответственно; *г, д* – карты сейсмофаций



и тектоническим развитием территории (чередованием сводовых поднятий и разделяющих их впадин) [46].

Основным этапом фациального анализа в условиях недостаточного числа скважин является сейсмическая интерпретация и выявление сейсмообразов геологических тел и процессов, предполагаемых по результатам общегеологического обобщения и анализа данных ГИС и керна. Целью сейсмической интерпретации является извлечение всей возможной геологической информации из данных сейсморазведки. Одним из наиболее информативных методов интерпретации данных сейсморазведки является спектральная декомпозиция. Полученный куб спектральной декомпозиции использовали для качественной оценки условий седиментации: по динамическим характеристикам выделены тела, интерпретируемые как предполагаемые конусы выноса и возможные питающие каналы (рис. 5, а).

Атрибутный анализ представляет собой изучение динамических и кинематических характеристик сейсмического поля и их производных.

Качественный анализ позволяет осуществлять прогноз латерального и вертикального распространения сложнопостроенных отложений, таких как колганская толща; акустическая контрастность терригенных отложений в пределах карбонатного массива позволяет вычленять изолированные тела конусов выноса. По результатам расчета множества сейсмических атрибутов выбраны наиболее информативные динамические атрибуты, которые отражают концептуальную модель осадконакопления отложений колганской толщи: среднеквадратичная амплитуда, мгновенная фаза, мгновенная частота, когерентность, относительный акустический импеданс, атрибут *sweetness*, хаос, градиент трасс и градиент амплитуд.

Для количественного анализа использовались атрибуты, которые чувствительны к изменению анализируемых параметров и на качественном уровне отражают изменения в литологическом составе, условиях осадконакопления и площадном распространении толщи, а также имеют наилучшую корреляционно-регрессионную связь с параметрами, полученными по результатам интерпретации данных ГИС. Количественный анализ коллекторов основан на расчете зависимости таких параметров, как пористость и эффективная мощность в скважинах от значений сейсмических атрибутов, снятых на скважине, и последующем построении прогнозных карт по уравнениям корреляционно-регрессионных зависимостей. Для прогноза пористости использован атрибут относительного акустического импеданса (см. рис. 5, б), для карт эффективных толщин – атрибут мгновенной фазы (см. рис. 5, в).

Для оконтуривания фациальных зон выполнен сейсмифациальный анализ с использованием формы сейсмических трасс (см. рис. 5, г) и сейсмических атрибутов (см. рис. 5, д). В результате были получены карты сейсмифаций, по которым с учетом концептуальной модели осадконакопления для исследуемого интервала выделены предполагаемые контуры конусов выноса в кровельной части циклита СЗ колганской

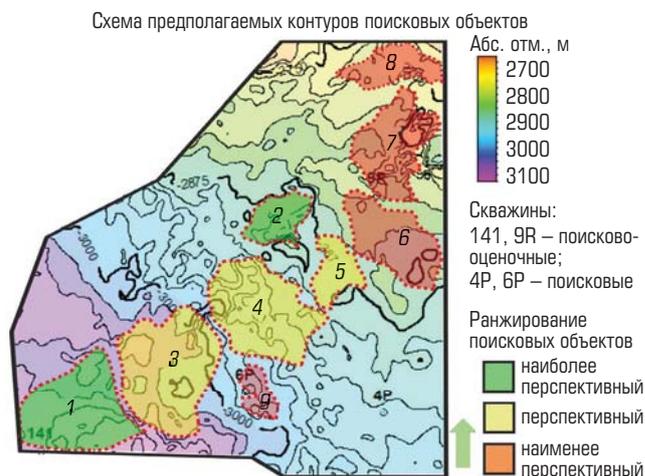


Рис. 6. Перспективные поисковые объекты – литологические ловушки, связанные с изолированными терригенными телами конусов выноса:

1–9 – выделенные литологические ловушки

толщи. Акустическая контрастность отложений конусов выноса, позволяющая идентифицировать сейсмообразы тел в массиве сейсмических данных, объясняется природой их образования: перемещенные обломочные отложения акустически контрастны отложениям карбонатного массива [40].

Выделение нефтегазоперспективных зон в отложениях циклита СЗ колганской толщи связано в первую очередь с прогнозом распространения высокочастотных коллекторов, отнесенных к кровельной части толщи и представленных по результатам сейсмифациального анализа отложениями конусов выноса.

Предполагаемые конусы выноса выделены по результатам комплексного анализа данных ГИС, сейсмических атрибутов и сейсмифаций, хорошо коррелирующих между собой, что говорит о надежности выполненных построений. При выделении перспективных зон учитывали прогнозные карты эффективных толщин и карты пористости. Выделенные поисковые объекты ранжированы по перспективности с учетом сопоставления прогнозных эффективных толщин и значений пористости. Перспективные поисковые объекты показаны на рис. 6.

Обсуждение результатов исследований

В результате проведенных исследований уточнено геологическое строение отложений колганской толщи и установлены закономерности седиментации в пределах Царичанской площади Колгано-Борисовской впадины. Осадконакопление нижнего циклита колганской толщи происходило в прибрежно-морских условиях, что подтверждается выделенными в отложениях циклита по данным керна и анализа электрофаций песчаниками пляжа и вдольбереговых баров. Обстановка осадконакопления глинисто-карбонатных отложений среднего циклита колганской толщи характеризуется как

мелководно-морской шельф, образование циклита происходило в условиях трансгрессии моря. Верхний циклит толщи, являющийся основным объектом исследования в данной работе, представлен алевропесчаными отложениями разрывных течений и конусов выноса, образованных в пределах карбонатной платформы в период активизации гравитационных потоков на фоне трансгрессии моря.

Комплексирование проведенных исследований позволило выделить фациальные зоны и депоцентры высокоемких песчаных коллекторов, оконтурить девять потенциальных поисковых объектов – литологических ловушек неантиклинального строения, представленных конусами выноса отложений верхнего циклита колганской толщи. В результате палеотектонических реконструкций определено направление сноса терригенных отложений турбидитов (с юго-востока на северо-запад), что соответствует данным общегеологического анализа и согласуется с тектонической историей развития территории.

Таким образом, применение сейсмических данных в условиях низкой разбуренности территории показало высокую эффективность при прогнозе фациальных зон и выделении литологических ловушек, связанных с изолированными терригенными телами конусов выноса в плотных глинисто-карбонатных отложениях.

Заключение

Выполненный фациальный анализ позволил уточнить геологическое строение колганской толщи и подчеркнуть неоднородность ее структуры. По данным интерпретации отражающих горизонтов толщи подтверждено клиноформное строение отложений. По данным палеореконокструкций установлен источник сноса осадочного материала в Колгано-Борисовский палеопробег – Соль-Илецкий свод и подтверждена концептуальная модель формирования колганского резервуара. Фациальный анализ позднеколганских отложений позволил выделить фациальные зоны конусов выноса и разрывных течений, представляющих собой перспективные высокоемкие коллекторы. Перспективные для поиска углеводородов зоны представлены изолированными литологическими ловушками конусов выноса, выделенными по результатам сопоставления данных сейсмофациального анализа, анализа керна, ГИС и прогнозных значений параметров эффективных толщин и пористости.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2024, № 9, pp. 4–11
DOI: 10.17580/gzh.2024.09.01

Oil and gas reservoirs in clinoforms of the Kolgan strata in the Volga–Ural oil and gas province: Forecast and survey technologies

Information about authors

I. A. Dovgan¹, Lab Engineer, Dovgan_IA@pers.spmi.ru

A. V. Martynov¹, Associate Professor, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

E. I. Grokhotov¹, Deputy Basic Research Manager

¹Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract

In view of depletion of conventional hydrocarbon resources and due to exhaustion of reservoirs in the main oil- and gas-producing regions, the new oil and gas field prospects are connected with poorly explored areas influenced by extreme climate and tough economy, and with deposits of complex geological structure. The article presents the studies on the late Frasnian–early Famennian Kolgan strata within the boundaries of the Tsarichanka area in the Kolgan–Borisovo depression, which detail the geological structure of the test area. The paleotectonic reconstructions have identified the drift paths of terrigenous turbidites as the southeast northwestward trends, which conforms with the general geology data and with the tectonic history of the area.

Application of seismic data proved to be highly efficient in prediction of facies zones and in detection of lithological traps. The facies analysis specified the geological structure and its nonuniformity for the Kolgan strata. The interpretation of the data on the reflection horizons confirmed the clinoform structure of the strata. The paleoreconstructions determined the source of the sediment drift in the Kolgan–Borisovo paleo-depression—Sol-Iletska anticline, and confirmed the conceptual model of formation of the Kolgan reservoir. The facies analysis of the late Kolgan sediments identified the facies zones of alluvial cones and noncontinuous flows as promising reservoirs. The hydrocarbon-promising zones represent isolate lithological traps of alluvial cones, identified from the comparison of

the seismo-facies analysis, core analysis, geophysical well logging and predictive estimates of effective thickness and effective porosity.

Keywords: Kolgan strata, facies, geophysical logging, seismo-facies analysis, alluvial cones, reservoirs, hydrocarbons.

References

- Cherepovitsyn A. E., Tretyakov N. A. Development of new system for assessing the applicability of digital projects in the oil and gas sector. *Journal of Mining Institute*. 2023. Vol. 262. pp. 628–642.
- Bolshakova N. V., Danilev S. M., Danileva N. A. Hydrocarbon resources potential and development prospects of the Behring sea shelf and the Pacific Ocean joining the Eastern Kamchatka onshore area. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2020. Vol. 15, No. 4. DOI: 10.17353/2070-5379/34_2020
- Cherdantsev G. A., Zharkov A. M. Prospects for the oil and gas content of the Upper Permian deposits of the southwestern part of the Vilyui syncline based on the analysis of sedimentary environments and geochemical conditions of oil and gas content. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 251. pp. 698–711.
- Shakirov V. A., Vilesov A. P., Kozhin V. N., Shakirova G. V., Kolesnikov V. A. et al. Features of the geological structure and development of the Mukhanovo-Erokhovskiy trough within the Orenburg region. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 2021. No. 6(354). pp. 5–16.
- Litvinenko V. S., Dvoynikov M. V. Development of conceptual solutions arrangement of the Arctic shelf. *Comprehensive Research of the Natural Environment of the Arctic and Antarctic: Abstracts of International Scientific Conference*. Saint-Petersburg: GNTs RF ANII, 2020. pp. 113–116.
- Krikun N. S., Babenko I. A., Talovina I. V., Duriagina A. M. Geological structure and perspectives of oil and gas bearing in neogene sediments of the southern part of the Kuril Island Arc System. *Russian Journal of Earth Sciences*. 2024. Vol. 24, No. 2. DOI: 10.2205/2024es000905
- Mukhametshin V. S., Khakimzyanov I. N. Features of grouping low-producing oil deposits in carbonate reservoirs for the rational use of resources within the Ural–Volga region. *Journal of Mining Institute*. 2021. Vol. 252. pp. 896–907.

8. Nefedov Yu., Gribanov D., Gasimov E., Peskov D., Han G. et al. Development of Achimov deposits sedimentation model of one of the West Siberian oil and gas province fields. *Reliability: Theory & Applications*. 2023. Vol. 18, Special Issue No. 5(75). pp. 441–448.
9. Shimansky V. V., Taninskaya N. V., Raevskaya E. G. Identification of combination traps in Jurassic and Lower Cretaceous series of Western Siberia based on paleogeography reconstructions. *Geologiya Nefti i Gaza*. 2019. Vol. 3. pp. 39–46.
10. Dvoynikov M. V., Leusheva E. L. Modern trends in hydrocarbon resources development. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 258. pp. 879–880.
11. Egorov A., Antonchik V., Senchina N., Movchan I., Oreshkova M. Impact of the Regional Pai-Khoi-Altai strike-slip zone on the localization of hydrocarbon fields in Pre-Jurassic Units of West Siberia. *Minerals*. 2023. Vol. 13. ID 1511.
12. Nefedov Y. V., Gao H., Gribanov M. A., Vostrikov N. N., Yashmolkin A. M. et al. Analysis of oil and gas controlling factors of lower silurian and upper ordovician sediments of Wufeng–Longmaxi Formation in Sichuan Basin. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*. 2024. Vol. 37, No. 10. pp. 2066–2079.
13. Dvoynikov M. V., Sidorkin D. I., Yurtaev S. L., Grokhotov E. I., Ulyanov D. S. Drilling of deep and ultra-deep wells for prospecting and exploration of new raw mineral fields. *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 258. pp. 945–955.
14. Nikitin A. V., Pilyugin S. M., Staroverov V. N. The importance of geodynamic analysis for searching hydrocarbons. *Nedra Povolzhya i Prikaspiya*. 2021. Vol. 104. pp. 39–51.
15. Tang Y., Chen Z., Simoneit B. R. T., Wang T.-G., Ni Z. et al. Recognition of in situ oil cracking in the Precambrian–Lower cambrian petroleum systems of sichuan basin, southwestern China. *Marine and Petroleum Geology*. 2021. Vol. 126. ID 104942.
16. Merkulov O. I., Sizintsev S. V., Zinchenko I. A., Bogachkin A. B. Pre-devonian deposits of the Volga–Ural oil-and-gas province: oil and gas potential, the main directions of exploration. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2019. No. 1(164). pp. 16–23.
17. Letcher T. M. (Ed.). *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*. 3rd ed. Amsterdam : Elsevier, 2020. 792 p.
18. Muslimov R. Kh., Plotnikova I. N. The main problems of developing deposits of unconventional hydrocarbons in ultra-low-permeable and shale sediments. *Georesursy*. 2018. Vol. 20, No. 3-2. pp. 198–205.
19. Sannikova I. A., Stupakova A. V., Bolshakova M. A., Galushkin Yu. I., Kalmykov G. A. et al. Regional modeling of hydrocarbon systems of the Bazhenov formation in the West Siberian basin. *Georesursy*. 2019. Vol. 21, No. 2. pp. 203–212.
20. Sinitsa N. V., Prishchepa O. M. A conceptual model for the formation of oil and gas accumulation zone within the Paleozoic basement of the southeastern West Siberian basin. *Aktualnye Problemy Nefti i Gaza*. 2023. No. 1(40). pp. 14–26.
21. Shuster V. L., Punanova S. A. Justification of oil and gas potential of the Jurassic–Paleozoic deposits and the basement formations of Western Siberia. *Georesursy*. 2016. Vol. 18, No. 4. pp. 337–345.
22. Punanova S. A. Oil and gas possibility of crystalline basement taking into account development in it of non-structural traps of combined type. *Georesursy*. 2019. Vol. 21, No. 4. pp. 19–26.
23. Nikitin Yu. I., Makhmudova R. Kh. Upper Devonian river deltas—perspective exploration play around south-east of the Volga–Ural Province. *Geomodel 2021: Proceedings of the 23rd Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development*. Gelendzhik, 2021. Vol. 2021. DOI: 10.3997/2214-4609.202157015
24. Merkulov O. I., Sizintsev S. V., Zinchenko I. A. Prospects for increasing the hydrocarbon resource base of the Volga–Ural, Caspian and North Caucasian oil-and-gas bearing provinces. *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2020. No. 2(171). pp. 9–19.
25. Kosmynin V. A., Kuzmin D. A. Lithofacies analysis and assessment of oil-and-gas prospects in the Kolgan strata in the south of the Orenburg Region. *Regionalnaya geologiya i metallogeniya*. 2013. Vol. 56. pp. 31–39.
26. Kusherbaeva L. M., Savinkova L. D. Lithofacies model of oil and gas reservoirs in the Kolgan strata in the south of the Orenburg Region. *University Town as Regional Center of Education, Science and Culture : All-Russian Conference Proceedings*. Orenburg : Orenburgskiy gosudarstvennyi universitet, 2017. pp. 1240–1245.
27. Pichugin S. V., Kotelnikova E. M., Usova V. M., Usov A. A. Results of remote analysis to find a new type of oil and gas deposits in the Orenburg region. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Ser.: Inzhenernye issledovaniya*. 2023. Vol. 24, No. 2. pp. 196–205.
28. Denisov S. B., Usova V. M. Tectonic paleoreconstruction of Kolgan thickness on the basis of time seismic cross section within the Donetsk–Syrtovsy field. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Ser.: Inzhenernye issledovaniya*. 2016. Vol. 3. pp. 35–40.
29. Usova V. M., Denisov S. B., Dolginov E. A. Paleotectonic analysis of seismic and log data on the Donetsk–Syr field. *The Young—For the Earth Sciences : International Scientific Conference of Young Researchers*. Moscow : Izdatelstvo RGGRU im. S. Ordzhonikidze, 2020. Vol. 5. pp. 109–112.
30. Kolomoets A. V. Report of Geological Subsoil Studies (Prospecting and Appraisal of Hydrocarbon Reservoirs) at the Tsarichanka Mining Lease. Orenburg, 2019. 120 p.
31. Shiryaeva A. S., Kotova V. Z., Novikova L. V. The new data of Kolganskaya deposit formation in Tsarichanskoye field. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2016. No. 5. pp. 38–40.
32. Nikitin Yu. I., Vilesov A. P., Rikhter O. V., Makhmudova R. A. Upper devonian river deltas in the south of Orenburg region. *Nauchno-tehnicheskij vestnik OAO NK Rosneft*. 2014. No. 4(37). pp. 44–50.
33. Kuzmin S., Rukavishnikov V., Sukovatyi V. Geological reasons causing rapid rate decline. A case study of Field T, Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2015. Vol. 24, No. 1. ID 012046.
34. Shibina T. D., Gmid L. P., Taninskaya N. V., Nikitin Yu. I. Lithology and prediction of reservoirs in the Kolgan strata of the Kichkass site in the south of the Orenburg Region. *Neftgazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2007. No. 2.
35. Zhemchugova V. A., Akhmanov G. G., Naumchev Yu. V., Pankov V. V., Karnyushina E. E. Sedimentation-capacity model of the subsalt deposits of the Southern Urals and adjoining territories. *Georesursy*. 2019. Vol. 21, No. 2. pp. 94–109.
36. Denisov S. B., Usova V. M. Tectonic paleoreconstruction of Kolgan thickness on the basis of time seismic cross section within the Donetsk–Syrtovsy field. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Ser.: Inzhenernye issledovaniya*. 2016. Vol. 3. pp. 35–40.
37. Zagrebely E. V., Kosmynin V. A., Kuzmin D. A., Ananov V. V. Sedimentation preconditions of Kolgan formation hydrocarbon potential. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2014. No. 1. pp. 20–25.
38. Kliatyshева L. R., Stremichev E. V. Kolgan terrigenous formation of Tsarichanskoe asset: Features of lithological varieties. *PROneft. Professionalno o nefti*. 2017. No. 2(4). pp. 19–24.
39. Adamovich O. O., Badalyan E. A. Applicability of EEL technology in improvement of efficient appraisal of reservoir properties: Theory and practical use. *Pribory i sistemy razvedochnoy geofiziki*. 2023. No. 3(78). pp. 59–67.
40. Olneva T. V., Ovechkina V. Yu., Zhukovskaya E. A. Computer modeling of terrigenous sedimentation as a new tool for prediction of hydrocarbon reservoir architecture. *PROneft. Professionalno o nefti*. 2020. No. 2(16). pp. 12–17.
41. Yermekov R. I., Merkulov V. P., Chernova O. S., Korovin M. O. Features of permeability anisotropy accounting in the hydrodynamic model. *Journal of Mining Institute*. 2020. Vol. 243. pp. 299–304.
42. Nemirovich T. G., Vilesov A. P. Analogy method. genuine and formal similarity of reservoirs. *Neftyanoe khozyaystvo*. 2012. No. 2. pp. 28–31.
43. Muromtsev V. S. *Electrometric Geology of Sand Bodies—Lithological Traps of Oil and Gas*. Leningrad : Nedra, 1984. 260 p.
44. Bayazitova A. I., Biktasheva A. A. Features of sedimentation in shallow sea basin in the southeast of the Russian Plate at the zhetivian–famennian age. *Problems of Geology and Subsurface Development: Proceedings of the 24th International Scientific Symposium of Students, Postgraduates and Young Scientists Devoted to the 75th Anniversary of Victory in World War II*. Tomsk : Izdatelstvo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2020. Vol. 1. pp. 68–70.
45. Sokolov A. G., Blinova T. S., Nesterenko M. Yu. The Frasnian–Tournaisian geological stage of the Cis-Ural neighborhood of Orenburg. *University Town as Regional Center of Education, Science and Culture : All-Russian Conference Proceedings*. Orenburg : Orenburgskiy gosudarstvennyi universitet, 2017. pp. 1382–1389.
46. Staroverov V. N. General patterns of lithogenesis in the Volga–Ural oil and gas field during the middle Devonian and Early carboniferous. *Nedra Povolzhya i Kaspiya*. 2019. No. 100. pp. 3–25.