

Комплексное геолого-геохимическое изучение доманиковых отложений Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (на примере Башкортостана)

Р.Х. Масагутов, д.г.-м.н.,
В.Н. Минкаев, к.г.-м.н.
(ПАО «АНК «Башнефть»),
О.Д. Илеменова, к.г.-м.н.
(ООО «БашНИПИНефть»)

Адрес для связи: ilemenovaOD@bashneft.ru

Ключевые слова: Республика Башкортостан, доманиковые отложения, органическое вещество, отражательная способность витринита, пиролиз, катагенез, температура, давление, нефтеносность, сланцевые углеводороды

Целью исследований является геолого-геохимическое изучение доманиковых отложений Республики Башкортостан в. Исследуемые отложения приурочены к доманиковому горизонту верхнего девона и распространены почти на всей территории РБ. В ходе исследований проведен литофациальный анализ, проанализированы данные о нефтеносности, выполнены геохимические исследования кернового материала: определение содержания органического углерода ($C_{орг}$), отражательной способности витринита (ОСВ), пиролиз. Породы доманикового горизонта характеризуются $C_{орг}$ от 3,0 до 29,1% масс. Пиролитические характеристики указывают, что органическое вещество достигло степени катагенеза МК₁- МК₂, соответствующей главной зоне нефтегенерации «oil window», что подтверждают значения ОСВ, достигающей 0,46-0,71 Ro. Для характеристики термобарических условий впервые в Башкортостане построены карты пластовых давлений и современных температур, приведенных к кровле доманикового горизонта. Пластовые температура и давление возрастают с севера на юг в направлении Мраковской депрессии. Установлено, что район наибольших перспектив нефтеносности доманикового горизонта охватывает территорию Верхне-Камской впадины, краевые части Башкирского свода, северо-восточную краевую часть Южно-Татарского свода и прилегающие части Благовещенской впадины и Бирской седловины. Новизна и актуальность исследований в том, что на основании анализа вновь полученной геохимической информации

Integrated study of geology and geochemistry of the Domanic formation in the Volga-Urals petroleum province (a case study from the Republic of Bashkortostan)

R.Kh. Masagutov,
V.N. Minkaev
(Bashneft PJSOC, RF, Ufa),
O.D. Ilemenova
(BashNIPIneft LLC, RF, Ufa)

E-mail: ilemenovaOD@bashneft.ru

Key words: Republic of Bashkortostan, Domanic formation, organic matter, vitrinite reflectance, pyrolysis, maturation, temperature, pressure, petroleum potential, shale hydrocarbons

The research is aimed at the study of the geology and geochemistry of the Domanic formation in the Republic of Bashkortostan as a promising exploration target and a reservoir for shale oil and gas. The Domanic sediments are confined to the Domanic Fm. of the Upper Devonian and are widespread almost throughout the Republic. The study included the lithology and facies analysis, evaluation of HC occurrences in this section, geochemical measurements on core such as TOC, vitrinite reflectance (Ro) and pyrolysis. The Domanic Fm. is characterized by TOC values from 3.0 to 29.1% wt. The pyrolysis data indicates the maturity of the source rock (organic matter) at stages MK1 to MK2 of the mesocatagenesis corresponding to the main oil window, as also supported by Ro values ranging from 0.46 to 0.71. For the first time pressure and present-day temperature were mapped adjusted to the top of the Domanic formation. to recreate the burial history and maturation. The in-situ temperatures and pressures increase southwards in the direction of the Mrakov Depression. The research area was then divided into zones based on their HC potential. It was found that the Domanic formation. is most prospective within the Verkhne-Kamskaya Depression, margins of the Bashkir Arch, the north-eastern margin of the Tartar Arch and the adjacent areas of the Blagoveschensk Depression and Birsik Saddle. The novelty and applicability of the research lies in the use of the obtained geochemical findings from the Domanic formation. for evaluation of its maturity,

доманиковых отложений была проведена оценка их катагенетической зрелости, рассмотрено их соответствие по термобарической характеристике критериям оптимальности поисков сланцевых УВ и намечено дальнейшее изучение юго-восточной части Мраковской депрессии, где данный комплекс отложений представляет наибольший интерес.

correlation of the pressure and temperature data against the optimum criteria for finding the so-called sweet spots or most prolific production zones. The research also resulted in recommendations for planning further exploration efforts in the south-east of the Mrakov Depression where this play is assumed to have highest petroleum potential.

Задачей исследований являлось изучение геолого-геохимической характеристики нетрадиционных по структуре и литологическому составу отложений доманикового горизонта верхнего девона Башкортостана в связи с их перспективностью для поиска углеводородов.

Доманиковые отложения сложены темноокрашенными, обогащенными рассеянным органическим веществом, кремнисто-глинистыми тонко-мелкозернистыми и органогенно-обломочными известняками с прослоями доломитов, мергелей, аргиллитов и горючих сланцев. Специфика их состава обусловлена условиями их формирования, проходившими в условиях некомпенсированного осадконакопления.

В ходе исследований проведен литофациальный анализ доманиковых отложений с учетом прежних исследований [1] и данных вновь пробуренных скважин, на карте (рис. 1) выделяются три литолого-фациальные зоны с различными типами разрезов.

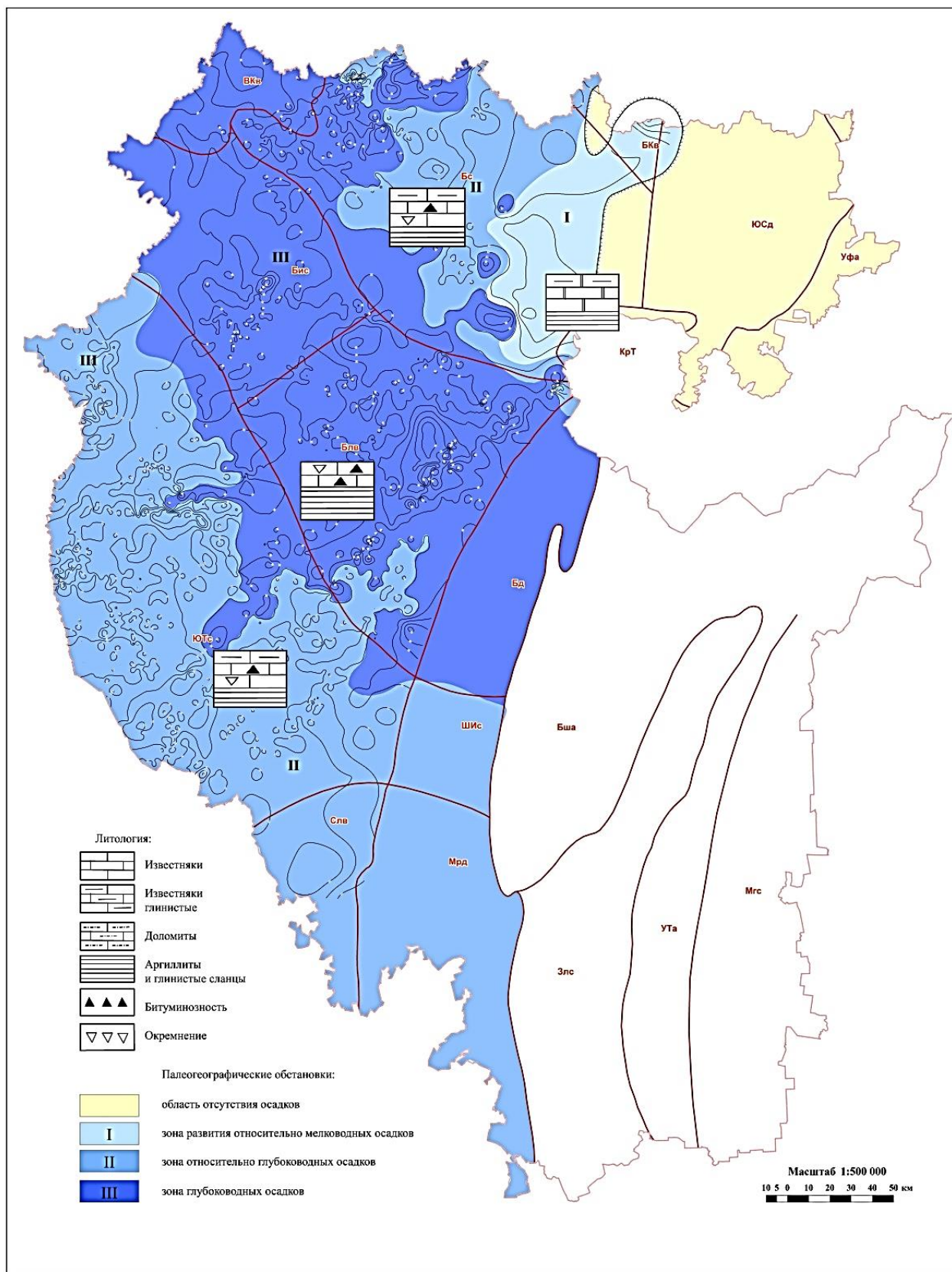


Рис. 1. Литолого-фациальная карта доманиковского горизонта

Первая (I) зона, представленная известняково-доломитовым типом разреза, выделяется лишь на восточном склоне Башкирского палеосвода и в восточной части Бымско-Кунгурской впадины с небольшим прилегающим участком Юрюзано-Сылвенской депрессии. Толщина доманиковых отложений здесь 7 - 14 м. Разрезы этого типа сложены темноокрашенными глинистыми и битуминозными известняками, доломитами и известково-глинистыми битуминозными породами.

Такая зона характерна для наиболее приподнятых участков дна доманикового бассейна.

Для второй (II) литолого-фациальной зоны, выделяемой на юго-западе и на севере рассматриваемой территории, характерен известняково-аргиллитовый тип разрезов, небольшое содержание терригенного материала и слабое окремнение. Общее количество терригенных пород (преимущественно аргиллитов) не превышает 6-9 %, окремнение пород составляет от 8 до 28 % всей толщины доманиковых отложений. В некоторых разрезах встречаются прослои доломитов и доломитизированных известняков.

Третья (III) литолого-фациальная зона (зона развития осадков глубоководной части моря) занимает центральную часть платформенного Башкортостана - Актаныш-Чишминскую депрессию, протягиваясь широкой полосой с северо-запада на юго-восток, в пределы Инзеро-Усольской депрессии. Разрез представлен известняково-сланцевым типом осадков: сильнобитуминозными глинистыми, окремнелыми, темноокрашенными известняками и темно-бурых, с прослоями почти черных кремнисто-глинистых, обогащенных рассеянным органическим веществом (РОВ) пород и горючих сланцев, а также мергелей и аргиллитов.

Толщина отложений доманикового горизонта изменяется от 22 м в северной части территории (скв.198БАД, 8ВОЯ) до 43 м – в восточной части зоны (скв. 6ШКШ). Отложения доманикового горизонта отсутствуют на

Юрюзано-Сылвенской депрессии, вследствие того, что эта территория была выведена на поверхность и описываемые отложения были размыты в последующее время.

Для выделения доманиковой фации с высоким содержанием $C_{орг}$ отложения доманикового горизонта были изучены методами ГИС в разрезах скважин по всей территории Башкортостана. Было рассчитано количественное содержание органического вещества в этих отложениях, выделены эффективные (с содержанием $C_{орг} > 2\%$) толщины доманикового горизонта. Доманиковые фации с высоким содержанием $C_{орг}$ ($> 2\%$), связанные с отложениями доманикового горизонта, развиты на всей территории Башкортостана. Суммарная мощность доманикового горизонта колеблется от 10 до 45 м. Эффективные ($C_{орг} > 2\%$) толщины доманикового горизонта, выделенные по ГИС, варьируют от 4 до 37 м [2].

Большое внимание было уделено изучению нефтеносности доманиковых отложений. Отложения доманикового горизонта испытывались на приток в 65 скважинах, из них в 11 скважинах получена нефть, в остальных получен фильтрат глинистого раствора, вода или вообще притока не получено. Положительные результаты испытаний доманикового горизонта получены на Башкирском своде и в прилегающих к нему Верхне-Камской, Бымско-Кунгурской и Благовещенской впадинах. Это можно связать с улучшением коллекторских свойств, увеличением карбонатности разреза, повышением доли трещинных коллекторов, а также наличием в верхней части доманикового горизонта плотных глинисто-кремнистых пород, служащих крышкой. Перспективы отдельных районов Башкортостана были намечены на основе установленных закономерностей в распределении пород-коллекторов доманиковых отложений в сочетании со структурно-тектоническими и геолого-геохимическими факторами. Район наибольших потенциальных перспектив нефтегазосности доманикового горизонта охватывает территорию Верхне-Камской впадины, западную и

северо-западную части Башкирского свода, северо-восточную краевую часть Южно-Татарского свода и прилегающие части Благовещенской впадины и Бирской седловины [3].

Залежи приурочены как к прослоям светлых пород, так и к темноцветным породам доманиковой фации глинисто-кремнисто-карбонатного состава, часто битуминозным. Характерной чертой для залежей в доманиковых отложениях является то, что относительно высокие первоначальные дебиты к концу опробования резко снижались, притоки нефти фонтанным способом прекращались.

Доманиковые первично-битуминозные отложения верхнего девона на территории Башкортостана обладали высоким нефтегенерационным потенциалом. Потенциал этих отложений не исчерпан, что делает актуальным проведение исследований этих отложений. По оценке нефтегенерационного потенциала по методу, предложенному С.Г. (1969 г), общее количество генерированных битумоидов доманиковыми отложениями верхнего девона по Башкортостану приближенно составляет 139 млрд. тонн, из которых 13,4 млрд т приходится на мигрировавшие жидкие углеводороды. Около 90 % генерации углеводородов обеспечивал доманиковый горизонт. Объем генерации битумоидов по доманиковому горизонту составил 126,7 млрд т, жидких углеводородов – 12,0 млрд т. Прогнозные ресурсы доманикового горизонта, подсчитанные методом геологических аналогий для Верхнекамской, Бымско-Кунгурской и Благовещенской впадин, а также западной части Башкирского свода, составили 30 млн т [3, 4].

Коллекторы в доманиковых отложениях представлены органогенными и зернистыми известняками, реже другими карбонатными породами. Преобладающими типами коллекторов в доманиковых отложениях являются порово-трещинные и каверново-порово-трещинные. Пористость карбонатов низкая, составляет 0,2-4,0 %. Проницаемость составляет 0,001- 0,062 мкм².

Геохимические исследования были направлены на определение содержания органического вещества в доманиковых отложениях, определение степени его катагенетической преобразованности, а также на изучение пиролитической характеристики этих отложений.

Для отложений доманикового горизонта характерно повышенное содержание рассеянного органического вещества. В отложениях доманикового горизонта определялось $C_{орг}$ по 139 образцам из 75 скважин Башкортостана. Величина содержания органического углерода ($C_{орг}$) испытывает колебания в породах от 3,0 до 29 % масс., отмечается и повышенное количество восстановленных битумов нефтяного типа (0,2-5,8 % масс.). Содержание $C_{орг}$ в доманиковом горизонте испытывает значительные колебания как по разрезу, так и по площади распространения, что связано с литологическим составом пород, а также местонахождением отобранной пробы в той или иной литолого-фациальной зоне.

Некоторое повышение $C_{орг}$ отмечается в темноцветных породах в осевой зоне Актаныш-Чишминского прогиба и приурочено к зоне развития глубоководных осадков. Максимальные содержания $C_{орг}$ (до 29 % масс) отмечаются в северо-западной части Актаныш-Чишминского прогиба, в западной части Южно-Татарского свода (скв. 150 Хасановская $C_{орг}$ - 19,9 % масс). Это объясняется тем, что здесь в составе доманикового горизонта отмечаются прослойки как глинисто-кремнисто-органических пород, обогащенных РОВ, так и горючих сланцев.

Определение катагенетической степени преобразованности доманиковых пород проводилось по значениям отражательной способности витринита (ОСВ), использовались значения R^O в масле. Часть результатов выполнена по прямым замерам в породах, другие выполнялись по образцам из отложений визейского яруса и были пересчитаны на кровлю доманикового горизонта, используя геотермический градиент и учитывая соотношение палеотемператур и отражательной способности витринита [5]. Степень

катагенетической преобразованности органического вещества отложений доманика, определенная по отражательной способности витринита (0,46-1,05 R^O), соответствует стадиям катагенеза МК₁-МК₃.

На карте распределения пород по величине отражательной способности витринита по кровле доманикового горизонта, построенной с учетом предшествующих исследований [6] (рис. 2) значения R^O изменяются от 0,46 до 1,05. Наибольшие значения ($R^O > 0,8$) отмечаются в Верхне-Камской впадине и на северном склоне Башкирского свода, где по фундаменту отмечается ступенчатое погружение, и территория сильно дислоцирована.

Увеличение R^O отмечается в центральной части Бирской седловины и Благовещенской впадины, что, вероятно, связано с развитием здесь тектонических нарушений. Кроме того, значения R^O более 0,8 отмечены в районе Тюменянской площади Южно-Татарского свода, где отмечается Шарано-Туймазинский выступ в фундаменте.

Повышение ОСВ в районе Бирской седловины (скв. 4341, 4352 Тузлукуш) связано с внедрением в рифейские отложения дайки габбро-диабазов, что отмечено при бурении скв. 137 Чекмагушевской площади. Пониженные значения ОСВ наблюдаются на Южно-Татарском своде и совпадают с Серноводско-Абдуллинским авлакогеном, отмечающимся по кристаллическому фундаменту, и зона пониженных значений протягивается от Башкирского свода к югу, что отражает имеющее здесь место погружение поверхности фундамента.

Пиролитические исследования пород доманикового горизонта проводились методом Rock-Eval. Пиролитический анализ керогена позволяет сопоставить образцы доманикитов по ряду показателей, из которых T_{max} (отвечающий максимуму пика S_2 , а также отражающий уровень «прогретости» исследуемых пород) и индекс продуктивности PI дают оценку зрелости керогена, а водородный показатель ($HI = S_2/C_{org}$) - показатель типа керогена.

По величине водородного индекса HI (от 173 до 917 мг/г) органическое вещество (ОВ) доманиковых отложений относится к II типу керогена. По содержанию органического углерода (от 2,6 до 24,2 % масс) породы классифицируются от «удовлетворительных пород» до «пород с отличным генерационным потенциалом».

Выход миграционных битумоидов (S_1) варьирует от 0,67 (скв. 63 Янгурчи) до 16,37 (скв. 150 Хасановская) мг УВ/г породы, величина S_2 , дающая представление об остаточном нефтегенерационном потенциале, также имеет значительные колебания от 3,89 до 165,8 мг УВ/г породы.

Продуктивный индекс PI, изменяющийся в породах доманика от 0,09 до 0,24, и показатель T_{max} , составляющий в породах доманика от 427 до 448 °С, указывают на то, что органическое вещество находится на уровне катагенеза МК₁- МК₂, что соответствует главной зоне нефтегенерации «oil

window», что подтверждают полученные значения ОСВ в этих образцах, достигающие 0,48-0,71 % R^0 .

Для характеристики термобарических условий доманиковых отложений впервые в Башкортостане были построены карты пластовых давлений и пластовых современных температур, приведенных к кровле доманикового горизонта. Для построения использовались как прямые замеры температур, сделанные в результате испытаний и при отборе проб нефти из отложений доманикового горизонта, так и пересчетные при отсутствии прямых данных.

На карте пластовых температур (рис. 3), приведенных к кровле доманикового горизонта, отображается постепенное повышение температуры юго-восточном направлении от 21 °С в Верхне-Камской впадине до 47 °С на восточном борту Благовещенской впадины, затем идет более заметный рост температуры, достигающей 81 °С в скв.14 Саратовской площади в южной части Мраковской депрессии. Это обусловлено региональным погружением поверхности доманикового горизонта в этом направлении.

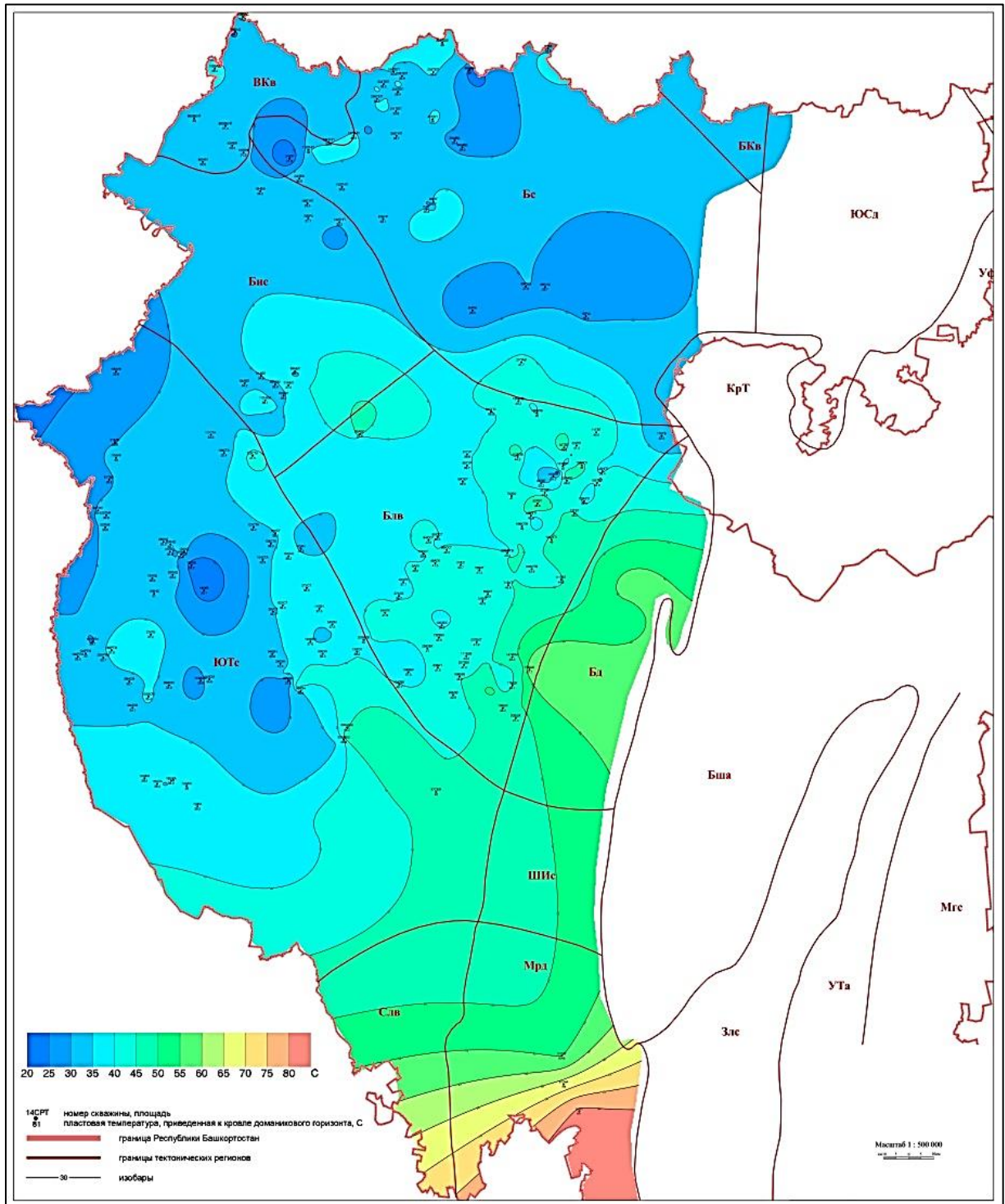


Рис. 3. Карта современных пластовых температур, приведенных к кровле доманиковского горизонта

Пластовые давления на большей части территории РБ меняются довольно незначительно и варьируют в интервале от 14 до 28 МПа, но на юге РБ идет

более резкий рост пластового давления до 40 МПа в скв. 101 Подгорновской площади Мраковской депрессии.

Намечено дальнейшее изучение юго-восточной части Мраковской депрессии, где данный комплекс отложений по термобарическим характеристикам соответствует критериям оптимальности поисков сланцевых УВ. Между тем, отсутствие кернового материала и как следствие геохимических исследований в доманиковых отложениях палеозойского разреза не дают нам возможность однозначно оценить перспективность этой части Мраковской депрессии. Для всестороннего изучения доманиковых отложений предлагается углубить одну из бурящихся эксплуатационных скважин Беркутовского газоконденсатного месторождения.

Выводы

1. На основании анализа вновь полученной геолого-геохимической информации по доманиковым отложениям:

- проведена оценка катагенетической зрелости органического вещества доманиковых отложений, получена пиролитическая характеристика; исследования показали, что органическое вещество достигло уровня катагенеза, соответствующего главной фазе нефтегенерации;
- выполнено ранжирование территории по содержанию органического вещества в доманиковых отложениях;
- рассмотрено соответствие доманиковых отложений по термобарическим характеристикам критериям оптимальности поисков сланцевых УВ и намечено дальнейшее изучение юго-восточной части Мраковской депрессии, где данный комплекс отложений представляет с этой точки зрения наибольший интерес.

2. Практическое значение изучения доманиковых отложений важно для решения вопроса нахождения промышленных залежей непосредственно в доманиковых отложениях и выявления перспектив вскрытия

законсервированных в них запасов углеводородов при помощи современных технологий.

Список литературы

1. *Сюндюков А.З.* Карбонатные отложения верхнего девона Западной Башкирии (типы, литолого-фациальные особенности и нефтеносность). - М.: Наука, 1961. - 89с.
2. *Выделение* эффективных толщин доманиковых и доманикоидных отложений с высоким содержанием ОБ (>2%)/ О.Р.Привалова, Т.В. Бурикова, Р.Х. Масагутов, В.Н. Минкаев// В сб. Перспективы увеличения ресурсной базы разрабатываемых месторождений, в том числе из доманиковых отложений: материалы конференции.- Лениногорск: ПАО «Татнефть», 2015г. - С. 65-70.
3. *Перспективы* нефтегазоносности доманиковых битуминозных формаций девона Башкирии, / Н.П. Егорова, Н.С. Студенко, О.Д. Илеменова, Т.Г.Борисова//В сб. Научное обеспечение стабилизации добычи нефти в Башкирии// Тр. ин-та/ Башнипинефть. - 1988. - Вып. 77. - С. 58-65.
4. *Масагутов Р.Х., Илеменова О.Д., Студенко Н.С.* Геолого-геохимические особенности доманиковых формаций девона Башкортостана в связи с перспективами их нефтегазоносности // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. -1994.- № 12.- С. 3-7.
5. *Палеогеотермические* критерии размещения нефтяных залежей/ И.И. Аммосов, В.И. Горшков, Н.П. Гречишников, Г.С. Калмыков .- М.: Недра. 1977. -156 с.
6. *Илеменова О.Д., Лозин Е.В., Масагутов Р.Х.* Степень преобразованности доманикитов и их роль в нефтеобразовании в Башкирском Приуралье // В сб. Доразработка и нефтеотдача месторождений Башкортостана»//Тр. ин-та/ Башнипинефть. - 2001. - Вып. 108.- С. 27-34.