

А. Ю. Белоносов^{1,2}, С. Р. Манкаева², А. Е. Кудрявцев^{1,2}*

Особенности геологического строения Бухаровского надвига в связи с его нефтегазоносностью

¹ Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука, г. Тюмень, Российская Федерация

² Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Российская Федерация
* e-mail: belonosov74313@mail.ru

Аннотация. В настоящее время в Уральском федеральном округе приостановилось наращивание ресурсной базы. Предлагается разместить объемы геологоразведочных работ в складчато-надвиговых зонах в пределах Предуральского и Урало-Казахского краевых прогибов. Для этого обоснованы геологические предпосылки и выявлен ряд особенностей этих зон. Геологические исследования сопряжены с рядом трудностей. Для их преодоления предлагается модернизировать методы интерпретации данных геологоразведочных работ. В пределах Предуральского прогиба выделены крупные тектонические элементы: Юрюзано-Сылвенская депрессия, Западно-Уральская складчато-надвиговая зона, Шамарско-Артинская структурная зона, Нижнесергинская покровная структура. В их пределах зафиксированы региональные и локальные надвиги с фронтальными антиклиналями. Открыто два месторождения: Бухаровское (газ) и Кедровское (нефть). Залежи приурочены к терригенно-карбонатным отложениям верхнего палеозоя: московскому и башкирскому ярусам среднего карбона. Изучен характер структурообразующих надвигов на Бухаровской структуре. Осуществлен прогноз зон с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами на основе АВО-анализа сейсмических данных. Выполнен оперативный подсчет запасов по категориям С₁ и С₂ свободного газа и конденсата по залежам пластов московского и башкирского ярусов Бухаровского месторождения. По комплексированию данных сейсморазведки ЗД, магниторазведки, гравиразведки, радиометрической разведки четко выделяются ловушки УВ в среднекаменноугольных поднадвиговых комплексах в зоне Бухаровского и Артинского надвигов. Не исключены промышленные залежи газа и нефти в поднадвиговых ловушках нижнего карбона и верхнего девона.

Ключевые слова: Предуральский прогиб, Бухаровский надвиг, Бухаровское месторождение газа и конденсата, московский и башкирский ярусы, комплексирование геофизических и геохимических данных, поднадвиговые ловушки углеводородов

A. Yu. Belonosov^{1,2}, S. R. Mankaeva², A. E. Kudryavtsev^{1,2}*

Features of the geological structure of the Bukharovsky thrust in connection with its oil and gas potential

¹ West Siberian branch Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Tyumen, Russian Federation

² Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation
* e-mail: belonosov74313@mail.ru

Abstract. Currently, the resource base has been suspended in the Ural Federal District. It is proposed to place the volumes of geological exploration in the fold-thrust zones within the Pre-Ural and Ural-Kazakh marginal deflections. For this purpose, the geological prerequisites have been substantiated and a number of features of these zones have been identified. Geological research is fraught with a number

of difficulties. To overcome them, it is proposed to modernize the methods of interpretation of exploration data. Large tectonic elements have been identified within the Pre-Ural trough: the Yuryuzano-Sylyven depression, the West Ural fold-thrust zone, the Shamar-Arta structural zone, the Nizhneserginskaya cover structure. Regional and local thrusts with frontal anticlines are recorded within their limits. Two fields have been discovered: Bukharovskoye (gas) and Kedrovskoye (oil). The deposits are confined to the terrigenous-carbonate deposits of the Upper Paleozoic: the Moscow and Bashkir tiers of the Middle Carboniferous. The nature of the structure-forming thrusts on the Bukhara structure is studied. The forecast of zones with improved filtration-capacitance properties based on AVO-analysis of seismic data is carried out. An operational calculation of reserves in categories C₁ and C₂ of free gas and condensate was carried out for the deposits of the layers of the Moskovsky and Bashkir tiers of the Bukharovsky field. According to the integration of 3D seismic survey data, magnetic exploration, gravity exploration, radiometric exploration, HC traps in medium-carboniferous thrust complexes in the zone of the Bukharovsky and Artinsky thrusts are clearly distinguished. Industrial deposits of gas and oil in the thrust traps of the Lower carboniferous and Upper Devonian are not excluded.

Keywords: Pre - Ural deflection, Bukharovsky thrust, Bukharovskoye gas and condensate field, Moscow and Bashkir tiers, integration of geophysical and geochemical data, thrust traps of Hydrocarbons

Введение

В настоящее время в Уральском федеральном округе эффективность геологоразведочных работ (ГРР), ввиду снижения качества подготовки перспективных структур к бурению, резко снизилась. Из-за этого сократился фонд структур, подготовленных к глубокому бурению. Соответственно, приостановилось наращивание ресурсной базы.

Чтобы повысить результативность поисков нефти и газа в Уральском федеральном округе, актуальными являются три направления ГРР: опосредованное и освоение арктических территорий, добыча сланцевого газа (баженовская свита) и обнаружение месторождений углеводородов (УВ) в краевых (Предуральский и Урало-Казахский) прогибах Уральской складчатой системы.

Освоение Арктики представляется привлекательным, но очень затратным. К этому следует добавить чрезвычайную удаленность, суровые климатические условия и высокие требования по безопасному проведению ГРР.

Увеличение ресурсной базы УВ за счет сланцевого газа не представляется значимым, так как его объемы не очень велики, технологии добычи до конца не разработаны, запасы являются трудноизвлекаемыми, и их широкомасштабное освоение связывается с высокими рисками.

Мировой опыт показывает, что к зонам краевых прогибов, а точнее к складчато-надвиговым зонам (рис. 1), могут быть приурочены месторождения нефти и газа от мелких до крупных размеров.

Долгое время считалось, что складчато-надвиговые зоны являются низкоперспективными. Однако главными геологическими предпосылками высоких перспектив поисков залежей УВ в складчато-надвиговых поясах является наличие высокоамплитудных складок, большая высота залежей, повышенная трещиноватость массивных резервуаров, увеличенная толщина, стратиграфическая полнота разреза, большое количество глинистых покрышек и высокая зрелость нефтегазоматеринских отложений [1].

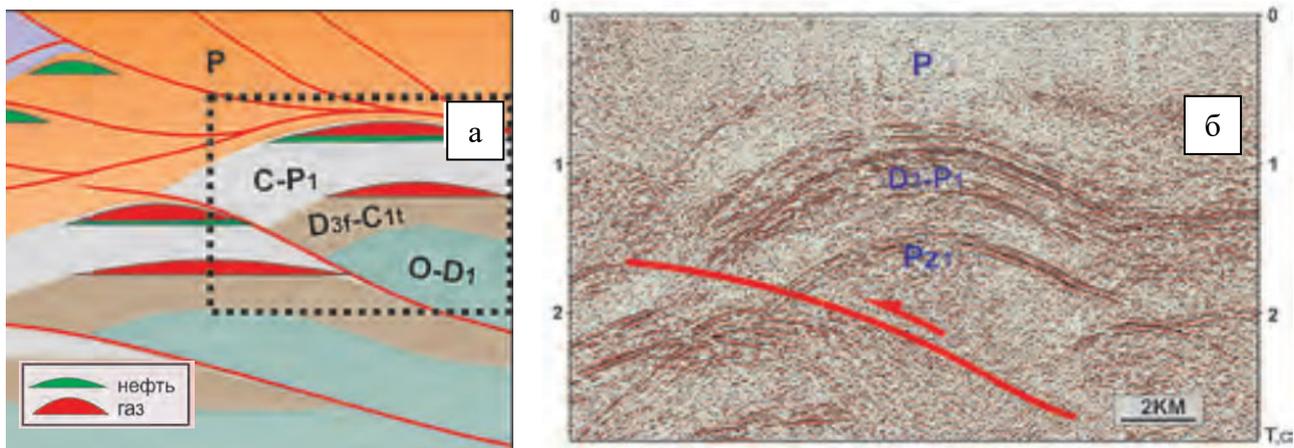


Рис. 1. Схематический геологический (а) и фрагмент сейсмического (б) разрезов складчатых предгорий Пай-Хоя и северо-восточной части Тимано-Печорского бассейна (по материалам ОАО «Нарьянмаргеофизика» и ОАО «Севморнефтегеофизика», с дополнениями К.О. Соборнова, 2014)

В складчато-надвиговых поясах удалось выявить ряд особенностей: зоны послойных срывов (детачменты), надвиги обратной (встречной) вергенции, тектонические утолщения (телескопирование) пластичных горизонтов, латеральные рампы и другие явления, при которых поверхностный структурный план не соответствует глубинному. Из-за этого скважины, заложенные на основе строения верхних горизонтов чехла, оказывались за пределами ловушек УВ. В качестве примера обсудим геологический разрез палеозойских и рифейских отложений в пределах Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны. Скважины Дуванская 1, Месягутовская 7 и Леузинская 1 были пробурены западнее надвиговых дислокаций, создающих антиклинальные складки. Зоны трещиноватых пород, содержащие ловушки УВ, скорее всего, остались восточнее (ближе к Главному Уральскому разлому) и не были вскрыты и испытаны.

Геологические исследования в районах складчато-надвиговых зон, сопряжены с рядом трудностей [2, 3], которые обусловлены процессами пластического течения материалов, складчатостью, надвиго- и сдвиго- образования, что в конечном итоге может исказить картину размещения фаций и мощностей стратиграфических подразделений.

Для успешного осуществления поисков залежей нефти и газа следует модернизировать комплексирование геофизических, геохимических и спутниковых технологий. Необходимо усовершенствовать интерпретационные программные продукты, включающие различные виды моделирования в различных геофизических, геохимических, физико-химических и других полях.

На сегодняшний момент Предуральский прогиб по сравнению с Урало-Казакским краевым прогибом лучше изучен сейсморазведкой, гравиразведкой, магниторазведкой, радиометрическими и геохимическими исследованиями, дистанционным зондированием Земли (ДЗЗ) из космоса и глубоким бурением.

Знание структурно-тектонического строения Предуральского прогиба посредством метода аналогий поможет рациональному изучению структурных элементов и открытию месторождений УВ в пределах Урало-Казахского краевого прогиба.

В пределах Уральского федерального округа, на западном склоне Урала выделены крупные тектонические элементы: Юрюзано-Сылвенская депрессия (ЮСД), Западно-Уральская складчато-надвиговая зона (ЗУСНЗ), Шамарско-Артинская структурная зона (ШАСЗ), Нижнесергинская покровная структура (НПС).

ЮСД находится в Юрюзано-Сылвенском нефтегазоносном районе Среднепредуральской нефтегазоносной области. Основная промышленная нефтегазоносность установлена в районах вне надвиговых дислокаций в отложениях среднего и верхнего карбона и нижней перми.

На территории Юрюзано-Сылвенской депрессии зафиксировано около полутора десятков региональных и локальных надвигов различной меридиональной протяженности, к которым приурочены фронтальные антиклинальные складки.

Подчиненность складкообразования региональным надвигам [4; 5], позволяет использовать надвиговые нарушения в качестве поискового признака для обнаружения ловушек УВ. В связи с тем, что надвиговые дислокации прослеживаются на сотни километров, обнаруживать их легче, чем подчиненные им антиклинали. Данный поисковый принцип от общего к частному, представляется более рациональным и эффективным.

Во фронтальных частях данных надвигов располагаются антиклинали, вытянутые в форме структурных валов. В некоторых из них обнаружены залежи углеводородов [6]. Характерной чертой фронтальных антиклиналей являются крутые принадлежковые крылья, измеряемые десятками градусов, а также пологие крылья, с углами наклона от нескольких минут до нескольких градусов. Отмечено, что своды складок с глубиной смещаются в сторону пологого крыла и могут быть перспективными для обнаружения залежей углеводородов.

В восточной части Юрюзано-Сылвенской впадины на сегодняшний день на площади свыше 12000 км² пока открыто только 2 месторождения — Бухаровское газоконденсатное и Кедровское нефтяное. Месторождения недоразведаны.

На основании региональных гравимагниторазведочных и сейсморазведочных работ перспективы нефтегазоносности данной территории оцениваются достаточно высоко. Причем месторождения могут быть обнаружены не только на территории впадины, где достаточно мощный осадочный чехол, но и в пределах Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны.

По характеру строения Западно-Уральская складчато-надвиговая зона отчетливо разделяется на 2 структурных элемента – Шамарско-Артинскую структурную зону и Нижнесергинскую покровную структуру [7].

ШАСЗ представляет собой систему протяженных субмеридиональных сдвиго-надвигов, в тыловых частях которых параллельно им располагаются высокоамплитудные антиклинальные структуры. К ним относятся наиболее круп-

ные Шамарский и Артинский валы и ряд более мелких валообразных структур (Бухаровский и др.). Нижний структурный ярус палеозойского чехла здесь продолжает полого погружаться на восток, почти не меняя угла наклона (первые градусы). Верхний – позднекарбонново-пермский - подвергся складчатым дислокациям, в результате которых образовались протяженные асимметричные линейные складки типа структурных валов, ограниченных с запада разломами (сдвигонадвигами), сместители которых меняют угол падения от крутого сверху до пологого на глубине [7].

На рис. 2 представлены фрагменты Бухаровского вала, к которому приурочено Бухаровское месторождение газа в мячковских отложениях и Артинского вала, в пределах которого скважины пока не пробурены.

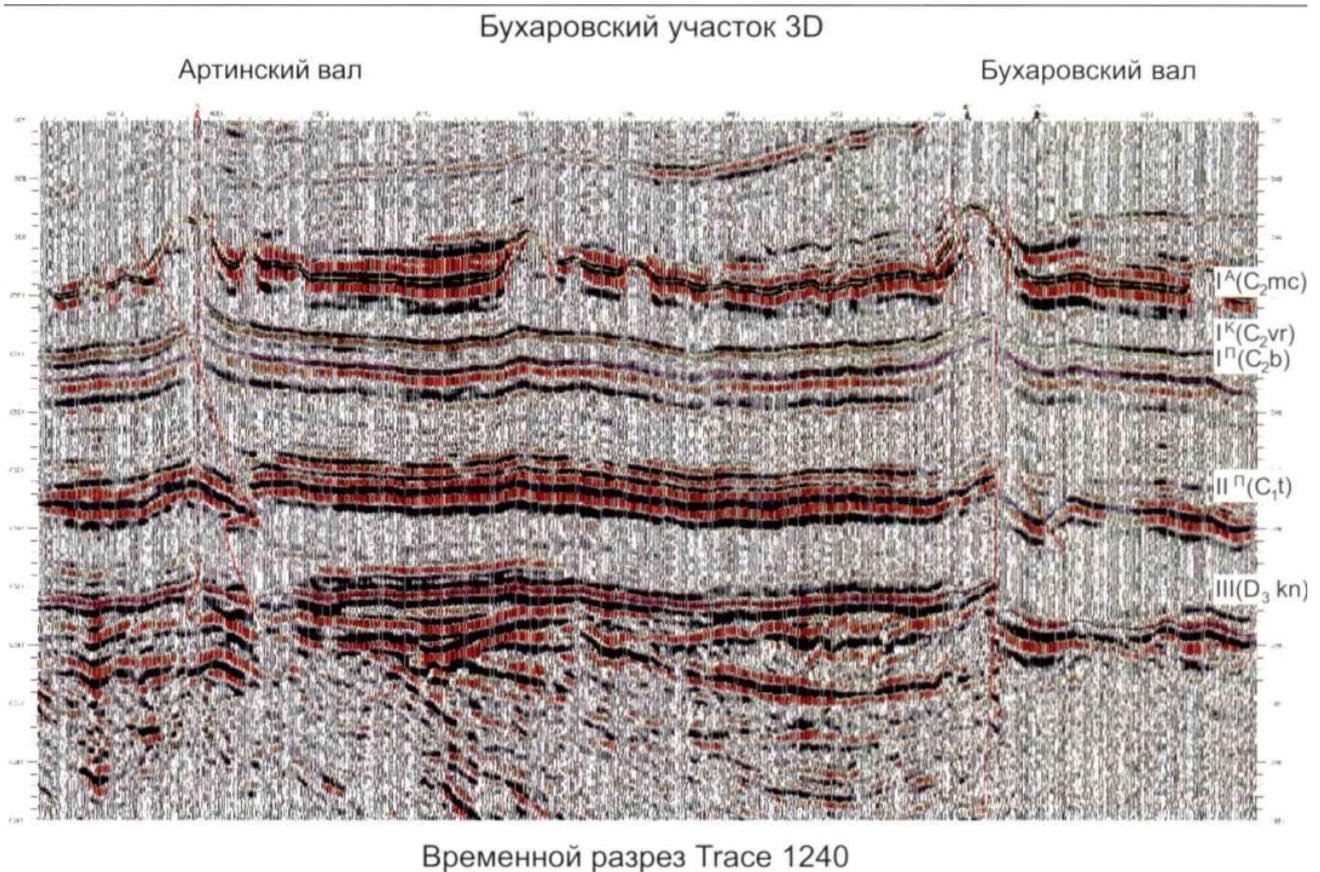


Рис. 2. Субширотный временной разрез в крест простирания тектонических структур

Характер структурообразующих надвигов изучен на Бухаровской газоносной структуре сейсморазведкой и бурением. Структура представляет собой сложное покровно-складчатое антиклинальное сооружение с частичным сдвиганием разреза за счет тектонического сгущивания аллохтонных пластин. Верхняя аллохтонная пластина, состоящая из отложений нижней перми, а также среднего и верхнего карбона, надвинута по пологому сместителю на отложения среднего карбона по кровле мячковского горизонта, толщина которого утроена. Ле-

жащие под надвигом каменноугольные и девонские отложения слагают еще одну аллохтонную пластину – параавтохтон, осложненный антиклинальной структурой. Основанием складчатой структуры являются терригенные и карбонатные отложения нижнего карбона и верхнего девона.

На Бухаровском месторождении к отложениям башкирского яруса приурочена залежь газа. При испытании через колонну в скв. 133 получен приток газа 42 тыс. м³/сут при штуцере 6.33 мм. Коллекторами служат пористые и, возможно, трещинно-кавернозные известняки (пористость до 10%). Продуктивный пласт мячковского горизонта сложен кавернозно-трещиноватыми известняками с пористостью от 1,7 до 3,3 %. Максимальный дебит свободного газа 279 тыс. м³/сут.

Прогноз зон с улучшенными ФЕС был рассмотрен на примере Бухаровского участка [8].

В ходе интерпретации сейсморазведочных данных выделены и протрассированы надвиги и тектонические нарушения меньшей амплитуды (оперяющие). Большая часть участка характеризуется развитием разломной тектоники в виде надвигов и складок, связанных со срывами в осадочном чехле. Такое строение характерно для всей палеозойской толщи отложений, включая продуктивные интервалы.

Прогноз углеводородов на основе АVO-анализа, прежде всего, предназначен для сред с низкими скоростями, т. е. для терригенных разрезов, сложенных мощными пластами, насыщенными газом (рис. 3).

Карты акустического импеданса можно рассматривать как прогнозные, характеризующие изменения ФЕС пластов.

Прогноз распределения зон улучшенных коллекторов по результатам динамического анализа показывает возможности подобных исследований в условиях сложной тектонической обстановки.

После предыдущего подсчета запасов, выполненного в 2010 г., новых скважин пробурено не было. После 2010 г. из скважины № 138 по пласту С_{2m} отобраны 5 устьевых проб пластового газа, 4 пробы газа сепарации, 2 пробы нестабильного конденсата, расчетным путем получены: 3 пробы пластового газа, 4 пробы газа сепарации, 2 пробы газа дегазации, 1 проба газа сепарации конденсата, 3 пробы дегазированного конденсата, 3 пробы нестабильного конденсата. В 2012 г., 2015-2016 гг., 2021 г. проведено три испытания в эксплуатационной колонне в скважине № 138 в интервале пласта С_{2m} мячковского горизонта.

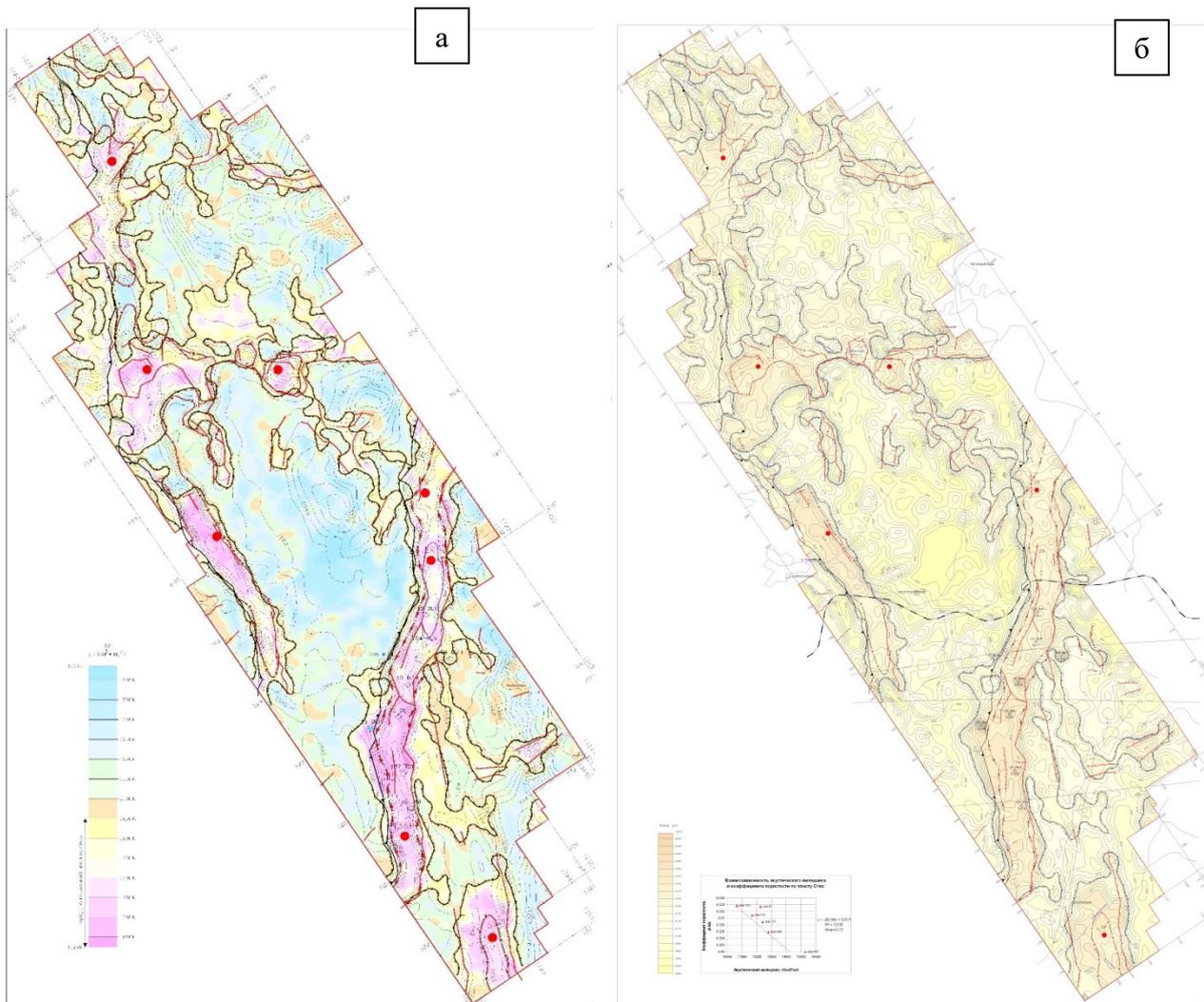


Рис.3. Характеристика акустического импеданса (а) и прогнозная карта пористости (б) по мячковскому горизонту

Оценка запасов углеводородов выполнена объемным методом. Запасы газа и конденсата пластов C_{2m} и C_{2b} подсчитаны по категориям C_1 и C_2 .

Начальные геологические/извлекаемые запасы «сухого» газа и конденсата в целом по месторождению оценены по сумме категорий C_1+C_2 в объеме 971/551 млн. m^3 и 10/5 тыс. т, в т.ч. по категории C_1 – 453/257 млн. m^3 и 5/2 тыс. т, по категории C_2 – 518/294 млн. m^3 и 5/3 тыс. т, соответственно.

В целом по Бухаровскому месторождению начальные геологические/извлекаемые запасы «сухого» газа по категориям C_1+C_2 уменьшились на 20 %/54,6 % (-243 млн. m^3 /-663 млн. m^3). Начальные геологические/извлекаемые запасы конденсата по категориям C_1+C_2 в целом по месторождению уменьшились на 16,7 %/54,5 % (-2 тыс. т/-6 тыс. т).

Запасы этана, пропана, бутанов и серы оценены впервые и не числятся на Государственном балансе РФ на 01.01.2021 г. по соседним месторождениям Свердловской области.

Выводы

1. Открытые в ЗУСНЗ на территории Свердловской области месторождения, приуроченные к надвиговым ловушкам, крайне незначительны по запасам. До настоящего времени целенаправленного изучения перспектив нефтегазоносности поднадвиговых отложений в зоне передовых складок не проводилось. В поднадвиговых ловушках могут находиться залежи не только газа, но и нефти. По данным сейсморазведки 3D достаточно четко выделяются ловушки УВ в среднекаменноугольных отложениях поднадвиговых комплексов в зоне Бухаровского и Артинского валов, которые имеют продолжение южнее и закартированы на территории Михайловского лицензионного участка.

2. Применение современных методов интерпретации сейсморазведочных и ГИС данных позволяет решать весьма сложные геологические задачи в виде картирования сложно построенных ловушек углеводородов и прогноза распределения коллекторов.

3. Не исключено наличие промышленных залежей газа, а возможно, и нефти, в поднадвиговых ловушках нижнего карбона и верхнего девона (в турнейских и фаменских отложениях).

4. Изучение геологического строения и история формирования слабоизученных складчато-надвиговых зон будет только способствовать более объективному прогнозу нефтегазоносности.

5. Своды принадвиговых складок с глубиной смещаются в сторону пологого крыла и могут быть перспективными для обнаружения залежей углеводородов в подстилающих стратиграфических горизонтах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Соборнов К.О. Возможности наращивания ресурсной базы газодобычи в складчатых поясах России // Вести газовой науки. – 2014. – №3 (19). – С. 56-61
2. Борукаев Ч.В. О палинспастических построениях // Геотектоника. – 1970. – № 6. – С. 23–29
3. Красильников В.П., Кожевникова Е.Е. Применение методов палинспастических реконструкций при моделировании донадвигового состояния сложно дислоцированных регионов // Вестник пермского университета. – 2021. – Т. 20. – №2. – С. 93-98
4. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. – 230 с.
5. Казанцев Ю.В. Геологическое строение и нефтегазоносность Бельской части Предуральского прогиба: Автореф. дисс. к.г.-м.н. Уфы: БашНИПИнефть, 1974. – 21 с.
6. Фархутдинов И.М., Фархутдинов А.М. О перспективах нефтегазоносности Юрюзано-Сылвенской депрессии Предуральского прогиба // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. – 2011. – №17. – С. 134-137.
7. Адиев Р.Я., Мунасыпов Н.З., Крекнин С.Г., Погрецкий А.В., Первушин А.В., Киселев В.В. Перспективы нефтегазоносности юго-западной части Свердловской области // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – №12. – С. 12-15
8. Ситдииков Р.Р., Погрецкий А.В. Прогнозирование коллекторских свойств зоны сложного сочленения Предуральского краевого прогиба и западно-уральской зоны складчатости на основе сейсмических данных // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2013. – №7. – С. 21-24.

© А. Ю. Белоносов, С. Р. Манкаева, А. Е. Кудрявцев, 2023