УДК 553.981.982; https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-1.01

РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОИСКОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В СЕВЕРНЫХ АРАБСКИХ ЭМИРАТАХ



B.P. ТУМАНОВ', кандидат геол.-мин. наук, главный геолог, *https://orcid.org/0000-0003-*2684-2591, vrtumanov@mail.ru



P.P. МУХАМЕДЯРОВ, директор, https://orcid.org/0000-0002-1787-2812, geotech@list.ru

ООО «КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» Российская Федерация, 420107, г. Казань, Петербургская 50, стр. 5, офис 225

Впервые рассчитана объемная цифровая модель поля теплового излучения и относительной водонасыщенности недр в зоне столкновения Аравийской плиты с Евразийской. На основе геодинамического анализа рельефа, данных предшественников по картированию поверхности, построения карт комбинаций космических снимков в различных каналах, на основе интерпретации гравиметрических данных, опубликованных сейсмических разрезов выполнена целевая, направленная на поиски углеводородного сырья интерпретация поля теплового излучения и поля относительной водонасыщенности недр на глубину 6 км.

В потенциально перспективной западной зоне локализовано 24 объекта общей площадью 305 км² с термодинамическими обстановками, благоприятными для промышленных скоплений углеводородов. Более половины прогнозируемых залежей приходится на ордовикские терригенные породы (?), остальные – на конгломераты и грейнстоуны или первично пористые биогенные карбонатные породы и трещиноватые кремнисто-карбонатные породы в стратиграфическом интервале от триаса до мела. Вероятные покрышки – меловые мадстоуны в тектонических пластинах, а также покровы ультраосновных и основных пород. Предположительный состав углеводородного сырья в порядке преобладания: газ, конденсат, нефть.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: космогеологические исследования, углеводороды, нефть, газ, геофизические поиски, тепловое излучение, Объединенные Арабские Эмираты, Северные Эмираты.



КОСМОГЕОЛОГИЯЛЫҚ ІЗДЕУ НӘТИЖЕЛЕРІ СОЛТҮСТІК АРАБ ӘМІРЛІКТЕРІНДЕГІ КӨМІРСУТЕКТЕР

В.Р. ТУМАНОВ, геол.-мин. ғылымдарының кандидаты, бас геолог, https://orcid.org/0000-0003-2684-2591, vrtumanov@mail.ru;

P.P. MYXAMEДЯРОВ, директор, https://orcid.org/0000-0002-1787-2812, geotech@list.ru

«SPACE TECHNOLOGIES» ЖШС, Ресей Федерациясы, 420107, Қазан қ., Петербургская 50, 5 корпус, 225 кеңсе

Пайдалы қазбаларды іздеудің дала алдындағы космогеологиялық әдістерінің кешені көрінетін және инфрақызыл диапазондардағы ғарыштық суреттер негізінде барлық геологиялық ақпаратты (жердегі және шалғайдағы, алдыңғы және қайтадан алынған) тез және мүмкіндігінше тез және толық түсінуге және картографиялық түрде көрсетуге арналған. Жүргізілген зерттеулердің нәтижелері бойынша лицензиялық аумақтарды таңдау бойынша шешімдер, қымбат тұратын дала жұмыстарының көлемі негізделді, бос аумақтарды уақтылы қабылдамау және пайдалы қазбалардың болжамды кен орындарының шекарасын белгілеу есебінен пайдалы қазбаларды іздеуге кететін шығындар айтарлықтай төмендеді (жылы сенімді геологиялық аналогтардың болуы – жергілікті ресурстарды есептеумен)

ТҮЙІН СӨЗДЕР: ғарыштық барлау көмірсутектер, мұнай, газ, геофизикалық барлау, термиялық радиация, Біріккен Араб Әмірліктері, Солтүстік Әмірліктер.

RESULTS OF SPACE-GEOLOGICAL RESEARCH FOR HYDROCARBONS IN THE NORTHERN ARAB EMIRATES

V.R. TUMANOV, candidate of geol.-min. sciences, chief geologist, https://orcid.org/0000-0003-2684-2591, vrtumanov@mail.ru;

R.R. MUKHAMEDYAROV, director, https://orcid.org/0000-0002-1787-2812, geotech@list.ru

"SPACE TECHNOLOGIES" LLC

50, Petersburgskaya str., building 5, office 225, Kazan, 420107, Russian Federation

For the first time, a three-dimensional digital model of the thermal radiation field and the relative water saturation of the subsoil in the zone of collision of the Arabian plate with the Eurasian one has been calculated. Based on the geodynamic analysis of the relief, the data of predecessors on surface mapping, the construction of maps of combinations of satellite images in various channels, based on the interpretation of gravity data, published seismic sections, a target interpretation of the field of thermal radiation and the field of relative water saturation of the subsoil to a depth of 6 km.

In the potentially promising western zone, 24 objects with a total area of 305 km² are localized with thermodynamic conditions favorable for industrial accumulations of hydrocarbons. More than half of the predicted deposits are Ordovician terrigenous rocks (?), the rest are conglomerates and grainstones or primary porous biogenic carbonate rocks and fractured siliceous-carbonate rocks in the stratigraphic interval from the Triassic to the Cretaceous. Probable seals are Cretaceous mudstones in tectonic plates, as well as covers of ultramafic and mafic rocks. Estimated composition of hydrocarbons in order of predominance is: gas, condensate, oil.

KEY WORDS: space-geological exploration, hydrocarbons, oil, gas, geophysical prospecting, thermal radiation, United Arab Emirates, Northern Emirates.



етодика исследований опубликована в предшествующем номере журнала «Нефть и газ» [1]. Площадь исследований (*рисунок 1*) расположена в Северных Эмиратах (Фуджейра, Рас эль-Хайм, Шаржа), частично – в Северном и

Южном Омане. В тектоническом плане это – стык Аравийской плиты с Евразийской. Нас интересовал вопрос – возможно ли в условиях столкновения плит и обдукции океанической коры и верхней мантии на континентальную плиту накопление месторождений углеводородов? Проанализировав данные предшественников по поверхности, геофизические данные, и увязав их с цифровой моделью теплового излучения недр, мы пришли к выводу, что месторождения углеводородов возможны как в автохтоне, так и в тектонических пластинах аллохтона.

Результаты работ мы намерены представить в порядке от поверхности к глубинным профилям и субгоризонтальным срезам поля теплового излучения и относительной водонасыщенности.

Данные по поверхности

Чрезвычайно сложная геология поверхности изучена в масштабах 1:25 000 и 1:50 000 (*рисунок 1*) Британской геологической службой в период с 2002 по 2006 г. Легенды к картам каждого из листов приняты нами без изменений, некоторые дополнения сделаны лишь по доюрской части разреза по [2–4].

Анализ цифровой модели рельефа выполнен нами по интегрированному изображению трех сцен, освещенных виртуальными источниками с северо-востока (60°), с юга (180°) и с северо-запада (300°).

По высоте и расчлененности рельефа выделяются 3 зоны: 1) слабых неотектонических поднятий, 2) умеренных неотектонических поднятий и 3) зона интенсивных неотектонических поднятий. В пределах второй и третей зон выявлены *положительные морфоструктуры*, потенциально перспективные на углеводороды (УГВ).

Размер наиболее крупной и ярко проявленной морфоструктуры 16×7 км, диаметр самой мелкой 3,3 км (*рисунок 3*). Как показали дальнейшие наши исследования, из 14 «растущих антиклиналей» 6 (43%) характеризуются благоприятными для локализации термо- и флюиднодинамическими обстановками. Это меньше, чем обычно, но геодинамическая интерпретация линеаментов рельефа не требует больших трудозатрат, а совмещение морфологических и термофлюидных поисковых признаков придает прогнозам более высокую надежность.

Результаты исследования комбинаций из различных спектральных зон

Цветовые изображения в RGB-цветовой модели состоит из 3-х каналов. При смешивании основных цветов – красного (red), зеленого (green) и синего (blue) получаются цвета смешанные, промежуточные, охватывающие всю наблюдаемую нами палитру.

Из 25 проверенных нами известных по публикациям комбинаций в многозональных спектрах лучшими для данных условий признаны две: PC-1-PC-2-PC-3 (*рисунок 2*), и PC2(4/3,5/7)(Clay), 5/4(Iron), 1357(Silica).

Границы между контрастными по цвету и текстуре блоками местами полностью отвечают границам тектоно-стратиграфических комплексов. Судя по великолепной точности и детальности карт масштаба 1:50000 и 250000, их авторы в полной мере использовали космические и аэрофотоснимки. На основе упрощения карт в направлении с запада на восток и на юг нами выделяются:

1) осадочные породы полуострова Музандам, 2) породы переходной зоны от континентальной плиты к океаническому склону Aruma Group и Hamrat Duru Group



Рисунок 1 – Обзорная карта, административная принадлежность территории исследований и схема расположения листов геологических карт масштаба 1:50000



3) пермские и мезозойские осадочные и вулканические формации океанического склона и океанических равнин, 4) метаморфические породы в тектонических окнах, 5) перидотиты и дуниты, 6) смешанные габбро-дунитовые комплексы с верлитами, 7) габбро и верлиты. Если для тектонических пакетов применить термины из седиментологии, приведенную последовательность можно было бы назвать регрессивной: чем моложе тектоническая пластина, тем она расположена ближе к источнику тектонических образований. Но это касается времени последнего перемещения пластин, а не возраста самих пород. В Dibba зоне (*рисунок 1*) возможны любые соотношения – как надвиги древних пород на молодые, так и конседиментационные олистостромы древних пород в молодом матриксе.

Не отрицая важного значения традиционных геологических карт, на основе анализа приведенных композитных изображений можно утверждать очевидную полезность использования синтезированных космических снимков, на которых выпукло проявляются взаимоотношения тектонических блоков и пластин. Так, очевидным предстает относительно наиболее молодое и наложенное положение самого крупного перидотитового овального блока на CB района. Блок выделяется своей однородностью и светлой зеленоватой окраской.

В тектонических окнах в западном и южном окаймлениях блока текстура рисунка отчетливо полосчатая, простирание полосок субмеридиональное, полосы резко секутся перекрывающими перидотитами.

Блоки пироксенитов в восточной и южной части листа Khowr Fakkan (*рисунок 1*) более темные и коричневые, чем в CB блоке. Размер их на полпорядка меньше (5–10 км), внутри блоков можно видеть линейность, связанную со смятием и поворотами внутри каждого из блоков. Напрашивается предположение, что это – первая, самая продвинутая на запад порция мантийных покровов на континент.

Если на севере стиль тектоники можно определить как пластинчато-блоковый, в ЮВ трети района его можно назвать тектонически-чешуйчатым, когда каждая восточная пластина частично перекрывает западную, и сама частично перекрывается более восточной.

Совмещение контуров блоков с результатами интерпретации гравиметрической и магнитной карт (*рисунок 3*) приводит к предположению, что приповерхностные геологические тела недостаточно объемны, чтобы определять особенности гравиметрического поля, и какой бы детальной и качественной ни была геологическая карта поверхности района, сквозь тектонические покровы скрытые структуры на уровне скоплений углеводородов распознать не получится. В тоже время *рисунок 3* суммирует данные по аномалиям рельефа, гравитационного и магнитного полей таким образом, что создает предпосылки для рабочих гипотез об объемных соотношениях блоков и положении плоскостей их ограничений.

Поясним это на примере разлома Wadi Ham Fault (*рисунок 3*, ЮЗ ограничение самого крупного светло-желтого пятна, отвечающего перидотитам и дунитам). Разлом по впадине в рельефе, по линеаменту в комбинации каналов частично совпадает с осью положительной магнитной аномалии, и ЮЗ окончанием узкого блока, сложенного метаморфическими породами. С этим ограничением совпадает и ось зоны





Рисунок 2 – Геологическая карта м-ба 1:250000. [Ministry of Energy, U.A.E., 2006] и изображение в комбинации каналов PC-1-PC-2-PC-3 многозонального космического снимка Landsat-7 Отдешифрированные авторами контуры блоков на карте слева показаны красным, на изображении справа – черным. Состав обозначенных цифрами блоков см. в тексте

градиентов гравитационного поля. Таким образом, положение плоскости разлома Wadi Ham Fault по приведенным данным определяется как вертикальное. Положительную магнитную аномалию, несколько смещенную к востоку, можно связать с гидротермальной магнетитовой минерализацией в серпентинитах у подошвы и фронта мантийного покрова над краем континентальной плиты.

В Dibba Zone (*рисунок 1*) выраженному в рельефе разлому параллельна ось протяженной отрицательной магнитной аномалии, расстояние между ними около 1,4 км. Здесь корреляция магнитного поля с гравитационным отсутствует: магнитная аномалия в целом согласуется с простиранием геологических контуров на поверхности, а гравитационные их косо секут.





Рисунок 3 – Совмещение осей геофизических аномалий, положительных морфоструктур и контуров блоков на фоне комбинации PC2(4/3,5/7)(Clay), 5/4(Iron), 1357(Silica) многозонального космического снимка Landsat-7

В большинстве случаев прямого совпадения или близкой связи между формальными структурными элементами физических полей и разломами на поверхности не наблюдается. Это весьма осложняет интерпретацию геофизических данных с целью прогнозирования залежей нефти и газа и требует каких-то дополнительных дистанционных инструментов проникновения на глубину. В качестве такого инструмента использована генерализация теплового поля и относительной водонасыщенности поверхности земли [1].

Опытом наших работ в Западной Пустыне Египта определено, что наиболее тесную связь с геологической структурой недр образует параметр относительной водонасыщенности (отношение летнего поля теплового излучения к зимнему), результаты работ по исследованию этого параметра излагаются более подробно.

Поле теплового излучения поверхности и относительная водонасыщенность

Разрешающая способность в тепловом канале B6 равна 60 м. Рассмотрим поле теплового излучения на примере участка Masafi-Ismah Metamorphic Window (*рисунок 4*).

Сравнивая рисунок теплового поля (*рисунок 4*) с рисунком псевдоцветных комбинаций и геологической картой (*рисунки 2, 4*), мы убеждаемся, что тепловой канал гораздо хуже отображает состав пород, но содержит новую, неразличимую в видимых диапазонах информацию по трещиноватости и разломам. На снимке (*рисунок 4*) четко выражено преобладание линеаментов, принадлежащих ортогональной и диагональной планетарным решеткам. Линеаменты главным образом относительно темные, т.е. относительно холодные, но есть и относительно светлые, разогретые. Длина большинства линеаментов – первые сотни м.

Местами прослеживаются протяженные широтные или направленные на CB линии, гладкие или ступенчатые, протяженностью до нескольких км, связанные с ограничениями и кинематикой крупных блоков. Встречаются и эшелонированные полосы косых по отношению к основному направлению коротких линий, проявляющих «вязкие» разломы. На C3 участка угадываются дуговые линеаменты как части концентрических систем, выходящих за пределы участка.



Рисунок 4 – Поле теплового излучения и геологическая карта Masafi-Ismah Metamorphic Window. Цифрами обозначены комплексы пород





Рисунок 5 – Относительная водонасыщенность. Диаграмма простираний и протяженности линеаментов. Во врезке – контур *рисунка* 6

Общий облик поля относительной водонасыщенности поверхности представлен на *рисунке 5*. В сравнении с линеаментами, отрисованными по рельефу, выяснилось значительно большая упорядоченность направлений, из которых первую роль играет широтное, вторую – связанные с диагональной решеткой, и третью – меридиональные. Отклонение на несколько градусов от широтного против часовой стрелки мы интерпретируем как связанное с поворотом Аравийской плиты в новейшее время уже после образования изначально строго ортогональной планетарной решетки разломов. Также с неотектоническими и современными смещениями мы связываем как бы «расплющивание» на несколько градусов решетки первоначально взаимно перпендикулярных диагональных линеаментов. Согласно законам тектонофизики [5], такие трещины скалывания с углом между ними менее 90° являются диагностическим признаком ориентировки главных нормальных напряжений по биссектрисе острого угла, в данном случае – поперек простиранию Оманского хребта.

Рассмотрим более детально фрагмент района исследований, показанный на *рисунке 6*, как мы это уже делали для поля теплового излучения, в сопоставлении с крупномасштабной геологической картой.

Обратите внимание на объем проделанной нами работы по выявлению линеаментов, общая длина которых составила 15568 км. Преобладающие по количеству широтные линеаменты представлены весьма многочисленными, но короткими, длиной мене 1 км линиями. Вместе с редкими, но достоверно различимыми, столь же короткими, меридиональными линеаментами они проявляют ортогональную планетарную решетку.

Диагональная решетка выражена более протяженными, до 4,5 км, линеаментами, как темными водонасыщенными, так и сближенными с ними и параллельными им светлыми сухими. Нередко можно видеть, что водонасыщенные диагональные линеаменты, по сути, представляют собой сочетания коротких меридиональных и широтных линий, в отличие от светлых, которые всегда выглядят гладкими. Это мы





Рисунок 6 – Относительная водонасыщенность и геологическая карта Masafi-Ismah Metamorphic Window. Цифрами обозначены комплексы пород и геологическая карта Masafi-Ismah Metamorphic Window. Цифрами обозначены комплексы пород

объясняем их большей сжатостью, притертостью трещин скола. В ортогональной решетке больше приоткрытых, водонасыщенных трещин. В поле покровных четвертичных отложений линеаменты единичны, они там еще не образовались.

Как видим, для отрисовки геологических границ тепловой диапазон и имидж водонасыщенности гораздо менее пригодны, чем видимый диапазон. Но они дают информацию о трещиноватости пород, о их микроблоках, характере проницаемости и водонасыщенности, направлении тектонических напряжений, о вероятных путях распространения тепла и влаги, т. е. о свойствах геологической среды, чрезвычайно важных для нефтяной геологии.

Результаты дешифрирования космических снимков в Google

Распространение космических снимков в системе Google дало совершенно новый и мощнейший инструмент распознавания и прослеживания геологических образований в трехмерном пространстве на поверхности Земли с их непрерывной координатной привязкой. Сейчас стало возможным составление космогеологических карт масштаба 1:25000, и даже масштаба 1:10000. Естественно, космогеологические исследования никогда не заменят наземные литологические, биостратиграфические и другие традиционные геологические методы, но не использовать то, что видно из космоса, значит бессмысленно тратить усилия и деньги.

Привязка к космическим изображениям позволяет судить, какая из имеющихся карт правильнее. Например, в центре участка на гребне горного хребта (*рисунок 7*) авторы геологический карты листа DIBBA (2006) показали синклиналь с верхнемеловыми конгломератами формации Ausaq в мульде. Соорег et al. [4] на основе биостратиграфических данных доказали принадлежность этих конгломератов к более древней, верхнетриасовой формации Kharas. Таким образом мульда синклинали на самом деле оказалась ядром крупной антиклинали, что в корне меняет представление о перспективах поисков здесь нефти и газа. Построения Соорег et al. [4] карта хорошо согласуются и существенно дополняются результатами нашего дешифрирования космических снимков в части современного роста главной для участка антиклинали, в части характера разломов, трещин и блоковости в основных тектоно-стратиграфических комплексах, в части кинематики разломов.





Рисунок 7 – Выраженная в рельефе растущая антиклиналь диагностируется по радиальному ансамблю линеаментов и высоте рельефа. Коричневый контур – прогнозируемая залежь УГВ диаметром около 2 км. В полупрозрачном режиме на космическое изображение в Google с отдешифрированными линеаментами наложена геологическая карта Cooper et al. (2016) [5]. Во врезке справа – копия рисунка 13.29а из монографии [2] – структура кровли месторождения Yibal в Омане

Далее мы проследили особенности облика геологических образований на космических снимках в видимом диапазоне с целью возможной оценки характера их делимости и проницаемости. Наиболее древними на участке являются известняковые конгломераты, песчанистые вакстоуны и пакстоуны, пелоидные и оолитовые пакстоуны и грейнстоуны формации Kharas (норий-рет). На *рисунке 8* видно, что эта формация образует монолитное и однородное геологическое тело, сложенное хаотическим скоплением сцементированных крупных обломков. Вероятная высокая проницаемость обусловлена изначальной его структурой, и трещиноватость как фактор проницаемости предположительно играет здесь вторую роль.





Рисунок 8 – Облик Kharas Formation на космическом снимке Контур формации показан желтой линией, трещины – фиолетовыми линиями

Рисунок 9 – Облик Jarief Formation на космическом снимке Формация подсвечена розовым





Рисунок 10 – Вид на крутой склон, обращенный на север, сложенный Jarief Formation и интерпретационный разрез.

Красное – Jarief Formation, зеленое – Sumeini group. Последовательность тектонических событий: выдвиже-ние субгоризонтальных тектонических пластин с востока на запад, образование взбросов, последнее собыие – сбросы западных блоков по отношению к восточным

Среднеюрская Jarief Formation на космических снимках (*рисунок 9*) похожа на Kharas Formation, поскольку она состоит преимущественно из частиц, осаждавшихся в достаточно высоко энергетической сублиторальной полосе. Трещины в породах формации также гаснут, но различается широтная линейность, по нашему мнению, обусловленная изначальным направлением сноса с запада на восток. Эта линейность может обусловить директивную проницаемость пород формации, сравнительно хорошую в широтном направлении и относительно пониженную – в меридиональном.

Система Google позволяет как угодно ориентировать снимки и заглянуть на крутые склоны в перспективном ракурсе, и выбрать из исторических снимков изображение с оптимальным освещением, как это сделано нами на *рисунке 10*. Оказалось, что в породах Jarief Formation хорошо выражена, и даже может служить картировочным признаком система субвертикальных и субгоризонтальных, широтных и меридиональных трещин, однородная по всему геологическому телу Jarief Formation. Эта система трещин может определять равномерную и повышенную проницаемость пород Jarief Formation не только у поверхности, но и на глубине. На *рисунках 9 и 10* видно, что изначально прямоугольная решетка скошена в соответствии с тектоническим движением вещества, в приподнятом блоке с нависанием ее на запад, а в опущенном – прислонением к восточному блоку. Такими тектоническими условиями



может определяться асимметрия возможных тектонических залежей углеводородов, с увеличением их толщины вблизи плоскостей основных разломов.

Подобная критическая ревизия поверхности с сопоставлением карт различных авторов и детальным рассмотрением на космических признаков первичной и вторичной проницаемости либо флюидоупорности тектоно-стратиграфических подразделений выполнена по всей площади космогеологических исследований.

Для последующих построений и прогнозирования залежей углеводородного сырья наиболее важны следующие результаты изучения поверхности:

• Наличие выраженных в рельефе растущих антиклиналей, отчасти совпадающих с отрицательными гравитационными аномалиями второго порядка.

• Выявление ортогональной и диагональной решеток трещиноватости как части планетарной системы разломов. Связанные с тектоническим стрессом разломы развиваются во взаимодействии с планетарными. Как наиболее проницаемые рассматриваются темные линеаменты ортогональной решетки, из них наиболее проявлены широтные. Разломы и трещины выражены в рельефе, на тепловых снимках, на снимках в видимом диапазоне.

• Дешифрирование космических снимков в комбинациях многозональных снимков и в видимом диапазоне подтвердило высокое качество геологических карт региона и отдельные их недочеты, установить естественные ограничения тектонических блоков, необходимое для последующих геологических построений на глубине.

• Геологические образования по особенностям космического облика гипотетически классифицированы на три категории по выраженным на космических снимках фильтрационно-емкостным свойствам: комплексы пород – потенциальных резервуаров, с промежуточными фильтрационно- емкостными параметрами и флюидоупорные:

1) Как относительно высокопроницаемые рассматриваются пермь-нижнетриасовые доломиты и известняки Ruus al Jibal Group, норий-ретские оолитовые конгломераты и грайнстоуны Kharas Formation, среднеюрская Jarief Formation, коньяк-компанские конгломераты Ausaq Formation. Карбонатные породы среднеюрской Musandam 2 Formaition и нижнемеловой Татата Group предположительно относятся к коллекторам с межзерновой и диагенетической трещинной пористостью по аналогии с Sajaa Field

2) Полупроницаемыми мы считаем домеловые метаморфические породы в тектонических окнах, домеловую Sid'r Chert Formation, бат-сеноманские мадстоуны Sumeini Group, берриас-верхнеаптскую Hamrat Duru Group, а также тектонические покровы габбро. Проницаемость в них связывается с приразломными зонами трещиноватости.

 Главным из флюидоупоров в покрове осадочных пород предстают сеноман-кампанские мадстоуны Muti Formaition и коньяк-кампанские мадстоуны Mayhah Formation. Наиболее флюидоупорными из тектонических покровов выглядят однородные гарцбургиты.

Интерпретации вертикальных разрезов объемной модели поля теплового излучения и относительной водонасыщенности недр

Для вертикальных разрезов мы упростили чрезвычайно запутанный клубок показанных на крупномасштабных картах тектоно-стратиграфических подразделений, которыми очень сложно пользоваться даже по поверхности, представив их в следующей схеме:

1 – осадочные породы полуострова Музандам :

1а – допермские, в том числе 1а1 – докембрийские, 1а2 – ордовикские, 1b – пермские-юрские: 1b1 – пермские и триасовые, 1b2 – юрские, 1с – меловые и кайнозойские;

2 – верхнемеловые породы переходной зоны от континентальной плиты к океаническому склону: 2а – грубые кластиты и меланж, 2а1 – верхнетриасовые конгломераты Kharas и юрские кластиты Jarief, 2а2 - верхнемеловые Ausaq Conglomerate, 2b – мадстоуны и меланж, 2v – вулканиты;

3 – пермские и мезозойские осадочные формации океанического склона и океани-ческих равнин;

4 – метаморфичесие породы в тектонических окнах;

5 – перидотиты и дуниты;

6-смешанные габбро-дунитовые комплексы с верлитами, серпентиниты, вулканиты.

Чтобы убедится в том, что неоднородности цифровой модели поля теплового излучения отражают реальные геологические неоднородности, мы используем данные геологического картирования поверхности, а для экстраполяции геологических элементов на глубину – интерпретацию гравиметрического поля и, насколько нам известно, единственное проинтерпретированное и опубликованное сейсмическое пересечение по разрезу D1[6]. Примерно там же находится линия нашего регионального разреза Bs-Bf (рисунки 1 и 11).

На рисунке 12 мы совместили в полупрозрачном режиме близко расположенные части сейсмического разреза D1 и нашего разреза Bs-Bf. Хорошо видно, что блоково-ячеистая структура поля относительной водонасыщенности дополняет структуру акустического поля, хотя буквального совпадения нет. Отчасти это объясняется некоторым несовпадением линий разрезов, но, главным образом, различием физической сути самих параметров – акустики и водонасыщенности. Поэтому нельзя ставить вопрос – что лучше – космическая тепловая томография или сейсморазведка. Необходимо и то, и другое.

Наша интерпретация сейсморазреза коренным образом отличается от интерпретации предшественников тем, что она лучше согласована с гравиметрическими данными. Мы отвергаем предложенную предшественниками [6] концепцию, согласно которой на данном разрезе офиолиты представляют собой единую, наклоненную на запад плиту со сравнительно выдержанной мощностью 1,2 – 1,7 км. В нашей интерпретации приповерхностная тонкая (менее 0,4 км) субгоризонтальная пластина ультрабазитов, судя по геологическим картам и облику поля относительной водонасыщенности, прослеживается на 13,6 км дальше на запад, чем это показано





Рисунок 11 – Сейсмический профиль D1 [6], совмещенный в полупрозрачном режиме с геологической картой м-ба 1:250000 черной линией показано положение геотермического разреза В, синей – контур площади наших исследований

на разрезе предшественников (метка СМР 4650). Тем не менее сила тяжести на запад неуклонно уменьшается. Значит, влияние на гравитационное поле офиолитов перекрывается влиянием состава более глубоко залегающих пород, и это, судя по отчетливо слоистой текстуре рисунка сейсмопрофиля, не офиолиты, а две формации осадочных слоистых пород с мощной (1.2 – 1,7 км) толщей плотных однородных пород (мадстоунов?) между ними. Нижний из слоистых секвенсов сопоставляется нами в данном разрезе с формациями Kharas и Jariff (триас – юра). Вполне возможно, что дважды повторяющаяся полосатая пачка – одна и та же, и это – дуплекс в фронтальной части надвига. Мы отдаем себе отчет в том, что пока не будет буровых скважин, мы не узнаем – какая из концепций ближе к истине. Решение этого вопроса для прогнозов нефтегазоносности крайне важно. Если полосчатые на сейсмическом разрезе интервалы – это офиолиты, то резервуары углеводородов в них маловероятны. Если же это грубообломочные осадочные образования, то в них можно ожидать высокую пористость и проницаемость, в которых могут накапливаться углеводороды. Зона разлома на западе между метками СМР 3500 – 3730 (рисунок 11) выражена в поле относительной водонасыщенности (рисунок 12) как темное пятно в прогибе, и как источник распространяющегося на восток теплового потока. В самой высокой части Оманского хребта на глубинах более 1 км вектор тепла меняет направление на восходящее и совпадает с восходящим вектором водонасыщенности. Этот разогретый флюидный поток утыкается в интервале глубин

НЕФТЬ И ГАЗ 🛞 2022 1 (127)

0,5-1,0 км в субгоризонтальную покрышку, выраженную векторами холода и сухости. Такое сочетание тепловых и флюиднодинамических признаков позволяет уверенно выделить здесь зону, перспективную на обнаружение углеводородных залежей. На глубинах 2–4,5 км сообщество холодной покрышки и тепла снизу повторяется, что указывает на наличие еще одного этажа перспективний зоны.

Восточнее, за пределами охарактеризованного сейсморазведкой участка геотермического разреза Bs-Bf, пластины гипербазитов наклонены на восток, они нагромождены одна на другую и приподняты над уровнем моря в виде Оманских гор. Мощность гипербазитов достигает здесь 4 км+1км габбро. Этим нагромождением объясняется гравитационная аномалия интенсивностью до 175 mG.

Мы не первые, кто представляет структуру Оманских гор как выдавленного из океанической коры и мантии к Аравийской континентальной плите гигантского «крокодила», в многоэтажные офиолитовые «челюсти» которого вдвинуты тектонические пластины, сложенные формациями континентального шельфа и океанического склона.

Первопричиной этой коллизии является все-таки не надвиг, а глубинный подвиг океанической коры под континент, и на разрезе мы видим лишь приповерхностные тектонические отслоения нижней коры и верхней мантии.



Рисунок 12 – Сейсмический профиль D1 [6], совмещенный в полупрозрачном режиме с юговосточным фрагментом геотермического разреза Bs-Bf

Светло-зеленым показана переинтерпретация сейсмического разреза, толстыми черными линиями – интерпретация геотермического разреза (в подложке – блоково-ячеистая структура поля относительной водонасыщенности по алгоритму AICBS). Границы между геологическими образованиями: 1 – осадочные породы полуострова Музандам: 1а – допермские: 1а1 – докембрийские (только на разрезах), 1а2 – ордовикские, 1b – пермские-юрские: 1b1 – пермские и триасовые, 1b2 – юрские, 1с – меловые и кайнозойские, 2 – породы переходной зоны от континентальной плиты к океаническому склону: 2 а – грубые кластиты и меланж, 2 b – мадстоуны и меланж, 2 v – вулканиты, 3 – пермские и мезозойские осадочные и вулканические (3v) формации океанического склона и океанических равнин 4 – метаморфические породы в тектонических окнах, 5 – перидотиты и дуниты, 6 – смешанные габбро-дунитовые комплексы с верлитами, серпентениты, вулканиты. Полоска вверху – выкопировка из карты изостатических гравиметрических аномалий



Основная часть океанической плиты, очевидно, круто наклонена под континент, и место этого изгиба выражено как мощная положительная гравитационная аномалия.

В таком же ключе проработаны остальные части двух региональных разрезов (*рисунок 1*, 263 км) и 129 разрезов по сети 1х1 км (6089 км). Пересечения разрезов на *рисунке 12* показаны тонкими вертикальными линиями. В каждом пересечении интерпретация осмыслена и сшита, это гарантирует отсутствие противоречий в геологических построениях.

Работа громадная, но ее стоимость на порядок дешевле полевой сейсморазведки, к тому же по правильной сети в горном рельефе сейсморазведка невозможна.

Интерпретации горизонтальных срезов объемной модели поля теплового излучения и относительной водонасыщенности недр

Карты–срезы созданы на территорию, значительно превышающую район, предусмотренный геологическим заданием. Это сделано в связи с тем, что ситуация на локальном участке может быть понята только с учетом более общих закономерностей. Построено 7 схем термодинамики по срезам на глубинах: 1) 6000-5460-5100-4860-4620-4380 м, 2)-4140-3900-3660-3420-3180-2940 м, 3) 2820-2700-2580-2460 м, 4) 2340-2220-2100-1980 м, 5)1860-1740-1620-1500 м, 6) 1380-1260-1140, 7) 1020-900.

На *рисунке 13* показана пример графической интерпретации полей теплового излучения и относительной водонасыщенности. По соотношениям векторов, осей градиентальных зон и экстремумов полей в плане можно судить о структурных неоднородностях полей и углах их наклона. На верхних срезах линии и контуры сплошные, на более глубоких – все более прерывистые. Если в плане они совпадают, значит соответствующие неоднородности вертикальны, если расходятся – легко подсчитать углы их наклонов.

Наиболее важна для поисков нефти и газа западная, перспективная часть площади, и на ней – участки увеличивающихся от нижних срезов к верхним пятен холода и сухости и замещения ими источников тепла и повышенной водонасыщенности (флюиднасыщенности), в частности – в окаймлениях геотермических седловин. геотермических седловин. Если источник тепла и флюидов не имеет холодной сухой покрышки, шансов на и сохранность в нем месторождений УГВ мало. На схемах термодинамики лучше, чем на разрезах видны общие площадные особенности полей, но для выявления конкретных объектов (прогнозируемых залежей) необходима интерпретация вертикальных разрезов

И так, мы выполнили геологическую интерпретацию облика поверхности в цифровой модели рельефа, в различных диапазонах излучения, проинтерпретировали объемную модель недр земли до глубины 6 км, полученную путем послойной генерализации цифровой модели теплового поля и относительной водонасыщенности недр и на этой основе, с учетом данных предшественников приступаем к изложению прогнозов относительно поисков нефти и газа в данном чрезвычайно сложном и интересном регионе.

Прогнозы и рекомендации

Главный результат наших работ – это обоснование двух зон: бесперспективной (восточная часть, 1165 км²) и перспективной (западная часть, 1557 км²), и в западной



Рисунок 13 – Совмещенные поле теплового излучения и относительная водонасыщенность в интервале глубин 1380-1260-1140



зоне – прогнозирование углеводородных залежей, ранжированных по перспективности на три категории.

В бесперспективной зоне (*рисунок 13*) по комплексу термодинамических, гравитационных и геологических данных недра представлены нагромождением тектонических пластин и блоков мантийных ультрабазитов и нижнекоровых габброидов, тектонически перемещенных на край Аравийской континентальной плиты с востока. Мы уверены, что здесь нет достаточных для образования месторождений объемов осадочных пород и признаков скоплений углеводородов в основных и ультраосновных породах.

В потенциально перспективной западной зоне флюидно- и термодинамические обстановки для промышленных скоплений углеводородного сырья благоприятны либо неопределенны. В части зоны с благоприятными перспективами выделены объекты (прогнозируемые залежи), перспективы которых ранжируются как высокие, средние и неясные. За пределами объектов перспективность зоны неопределенная, в этой части перспективной зоны объектов может и не быть, но в отличие от бесперспективной зоны уверенности в этом нет

Выделено 24 локализованных объекта общей площадью 305 км² (11% от всей площади работ) Это важнейший показатель экономической эффективности наших прогнозов, поскольку он позволяет на порядок (!) сократить затраты на сейсморазведку и бурение и сосредоточить их там, где это обосновано всей совокупностью имеющихся данных.

Высокоперспективные объекты не противоречат ни одному из 11 разработанных нами флюидно-геодинамических критериев прогнозирования углеводородного сырья [1].

По принадлежности к тектоно-стратиграфическим единицам объемы (тыс. м³) прогнозируемых объектов с углеводородами распределяются следующим образом: ордовикские терригенные породы (1а2) – 24498920, пермские-юрские осадочные породы полуострова Музандам (1b) – 2564850, верхнетриасовые конгломераты Kharas и юрские кластиты Jarief (2a1) – 3134080, верхнемеловые Ausaq Conglomerate (2a2) – 3134080, мадстоуны и меланж неопределенного возраста (2b) – 7449200, пермские-мезозойские осадочные формации полуострова Музандам, океанического склона и океанического склона и океанических равнин (2b-3) – 3904350, пермские-мезозойские осадочные формации океанического склона и океанического склона и океанических равнин (3) 3794000.

Суммарный объем прогнозируемых залежей 46 163 400 тыс. м³. Примечание: в м³ отмечена толщина продуктивного горизонта.

В первую очередь рекомендуется заверить скважинами 7 высокоперспективных объектов № 1, 10, 18, 19, 20, 21, 24 (суммарный объем 24823204 тыс. м³), и начать рекомендуется с самого крупного (объем 10363454 тыс. м³), поскольку он легко доступен, отличается большой мощностью (430 м), сравнительно неглубоким залеганием (1347–1985 м) и ясным сочетанием признаков подтока разогретых флюидов снизу, холодной и относительно сухой надежной покрышки. Залежь локализована в ордовикских терригенных породах (1а2), по размерам отвечает крупному месторождению. Аналогов прогнозируемого месторождения в ОАЭ не известно, в



какой-то мере можно допустить сходство с расположенными севернее, в Омане, пермскими-триасовыми месторождениями газа и конденсата Hagil and Ash Sham prospect [7], но и по ним цифрами, необходимыми для пересчета объемов залежи в ресурсы, мы не располагаем. Месторождения нефти в ордовике известны в южной части Омана. [2].

Вторым по привлекательности представляется объект в мадстоунах и меланже (2b), по объему примерно вполовину меньший объекта 1. Предположительно представляет собой тектонически дезинтергрированные мадстоуны в зонах меланжа. Примечателен большой размах абсолютных отметок предполагаемого водно-нефтяного (водно-газового ?) контакта и значительное утолщение вероятной залежи в куполе тектонической псевдоантиклинали. Здесь возможны аномально высокие пластовые давления. Роль покрышки принадлежит тектоническому покрову гипербазитов и перемещенным океаническим мадстоунам.

Третьим участком для первоочередной заверки рекомендуется потенциальное месторождение, верхний этаж которого представлен залежью в верхнемеловых Ausaq Conglomerate (2a2), средний этаж – залежью 20 в пермских-мезозойских осадочных формациях полуострова Музандам, океанического склона и океанических равнин (2b-3), и нижний этаж – залежью в верхнетриасовых конгломератах Kharas и юрских кластитах Jarief (2a1). Суммарный объем объектов 5091550 тыс. м³.

Высокоперспективный объект объемом 1619000 тыс. м³ в пермских-мезозойских осадочных формациях океанического склона и океанических равнин (3) прогнозируется в кремнисто-карбонатных и кремнисто-пелитовых породах, в которых достаточная пористость и проницаемость может быть как первичной, биогенной, так и вторичной, тектонической. Предполагается близкое к горизонтальному положение километровой по мощности тектонической покрышки, представленной относительно охлажденными и сухими офиолитами. Это - признаки надежности, высокого качества покрышки.

Высокоперспективным мы посчитали также объект объемом 1571400 тыс. м³ в пермских-юрских осадочных породах п-ва Музандам (1b). Вероятно его сходство с расположенными севернее, в Омане, пермскими-триасовыми месторождениями газа и конденсата [7]. Мы видим 2 уровня зоны, в которой возможно обнаружение углеводородов, и это следует иметь в виду при планировании испытаний в скважине. Однако хорошо выраженная покрышка наблюдается только на глубине около 2 км, и руководствуясь этим признаком, высокоперспективную залежь мы прогнозируем непосредственно под этой покрышкой.

Ранжированный по объемам ряд объектов средней перспективности выглядит так: 7, 22, 23, 9, 4, 3, 15, 13a, 13, 2, 12, их объемы от 4006030 тыс. м³ до 488750 тыс. м³, суммарный объем 14 571 930 тыс. м³ вдвое меньше суммарного объема высокоперспективных объектов.

В отличие от залежей высокоперспективных какие-то один или два из множества геотермических критериев поисков углеводородного сырья [1] могут быть не выражены. Чаще всего это нечеткое проявление сочетания сухости и холода в покрышке, или неустойчивость такого сочетания во всех разрезах объектов прогнозирования,



или некоторые неувязки в рисунке второй производной водонасыщенности с предполагаемой подошвой залежи.

Объекты неясной перспективности упорядочены в ряд в соответствии с их объемами: 5, 17, 6, 14, 11, 16, 8. Их суммарный объем 6 768 720 тыс. м³ более чем вдвое меньше, чем у объектов средней перспективности. Неясность перспектив может быть обусловлена либо геологическими данными, либо термодинаитческими критериями, либо небольшими размерами объекта поисков.

Хотя локализованных объектов 24, для их заверки достаточно 20 скважин, поскольку в двух случаях объекты располагаются один над другим, а на двух самых небольших залежи незначительны.

Рекомендации по дальнейшему направлению работ:

- бурение поисково-параметрических скважин на высокоперспективных участках,

- проведение детальной гравиразведки и профильной сейсморазведки по всей северо-восточной части района в пределах зоны, в которой флюидотермодинамические обстановки для накопления углеводородов благоприятны либо неясны;

- 3 D сейсморазведка с регистрацией и интерпретацией как поперечных, так и продольных волн для оконтуривания зон с открытой субвертикальной трещиноватостью на участках с весьма благоприятными для накопления углеводородов условиями;

- разведка участков с подтвердившимися перспективами. 🕄

ЛИТЕРАТУРА

- Туманов В.Р., Мухамедяров Р.Р. Комплекс предполевых космогеологических методов поисков полезных ископаемых // Нефть и газ. – 2021. – № 6(126). – С. 59-79. – [Tumanov V.R., Mukhamedyarov R.R. Complex of pre-field cosmogeological methods for mineral resources exploration // Oil and Gas. - 2021. - No. 6(126). С. 59-79].
- 2 Alsharhan A.S., Nairn A, E. M. Geology of the Middle East, ELSEVIER. Amsterdam Lausanne – New York – Tokyo, 1997. – 843 c.
- 3 Tarapoanca M., Andriessen P., Broto K., Chérel K., Ellouz-Zimmerman N., Faure J.L., Jardin A., Naville C., Roure F. Forward kinematic modelling of a regional transect in the Northern Emirates, using apatite fission track age determinations as constraints on paleoburial history // Arabian Journal of Geosciences. – 2010. – V. 3. – Is. 4. – P. 395–411.
- 4 Cooper David J.W., Toland Christopher, Ali Mohammed Y., Greend Owen. Evolution of the Arabian continental margin of the northern Dibba Zone, eastern United Arab Emirates and Oman // Journal of Asian Earth Sciences. 2016 V. 129. P. 254-275.
- 5 Гончаров М.А. Введение в тектонофизику. М.: КДУ, 2005. 496 с. [Goncharov М.А. Vvedenie v tektonofiziku. М.: KDU, 2005. 496 с.]
- 6 Navill C., Ancel M., Andriessen P., Ricarte P., Roure F. New constrains on the thickness of the Semail ophiolite in the Northern Emirates // Arab J Geosci. – 2010. – N 3. – P. 459-475
- 7 Indago Petroleum Research & Analysis, October 2005. https:financedocbox.com/Tax_ Planning/86174162-Indago-petroleum-research-analysis-october-2005.html

