

150 т конденсата). В настоящее время добыто более 750 000–800 000 м³ газа и 100–110 т конденсата из двух скважин. Umid-Babek Operation Company начала бурение эксплуатационной скв. U1-18 в мае 2020 г. Её проектная глубина составляет 6 720 м, а прогнозируемый суточный дебит – 1,5–2 млн м³ газа. Ещё одна скважина будет пробурена с платформы «Умид-1». Это повысит суточную добычу газа с «Умид-1» с 2,4 до 6,6 млн м³. Умид был введён в эксплуатацию в сентябре 2012 г.. В настоящее время в эксплуатации находятся три эксплуатационные скважины. На сегодняшний день на месторождении добыто 3,4 млрд м³ газа и 540 000 т конденсата. В 2019 г. добыто более 750 млн м³ газа и около 140 тыс. т конденсата, а план на 2020 г. составлял 143 тыс. т. Запасы месторождения оцениваются в 200 млрд м³ газа и 40 млн т конденсата.

Заключение. В результате интерпретации геофизических материалов построена структурная карта, выполнены расчёты по площади и глубине структур Умид и Бабека. Структура Умид-Бабек начинает развиваться на ранней стадии, когда более сильный структурный рост связан с частью Бабека, что подтверждает предположение об отдельных структурах, но в рамках одного геологического блока. Основной рост произошел с сураханского времени и далее, с отчётливо более высоким ростом Бабекской части блока. Синклиналь к северу от структуры появилась только к концу ачкагыльского времени. Недавно пробуренные скважины показали наличие УВ в структуре Умид. Пока в Бабеке наличие УВ не подтверждено. Но с точки зрения сроков и формы конструкции структура Бабек имеет чёткое закрытие, например, как в структуре Шахдениз. Кроме того, Умид-Бабек имеет ряд преимуществ в сравнении с остальными структурами Бакниского архипелага. Оно занимает наивыгоднейшее положение на пути миграции флюидов из глубоких зон депрессии и обладает благоприятными условиями для накопления и сохранения залежей УВ.

Библиографические ссылки

1. Ахмедов А. О геологической характеристике и перспективах нефтегазоносности площади Умид // Азерб. нефтяное хоз-во. 2008. № 3. С. 19–22.
2. Ахмедов Э., Велиев Р. Способы минимизации факторов неопределённости и геологических рисков на основе газоконденсатного месторождения Умид // Георесурсы. 2019. Т. 21, № 1. С. 92–98.
3. Javadova A. South Caspian Sub-Regional Basin Evaluation // Proc. 3rd Int. Conf. «Geology of the Caspian Sea and adjacent areas», Baku, Azerbaijan, 16–18 Oct. 2019. P. 1–5.
4. McLanachan G. A., Shikhaliyev Yu. A., Gauzer G. Y., Vasilchuk N. B. New results of a study of the Productive series in the Umid-Babek structural Trend // Geophysics news in Azerbaijan. 1998. Bull. N 4.

УДК 550.36(045)

ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

Н. И. Бахова

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,
пр. Палладина 32, 03680 Киев, Украина; bakhova.nataly@gmail.com

На основе численного моделирования с помощью метода конечных элементов предложена методика расчёта теплового режима Днепровско-Донецкой впадины (профиль Михайловка-Ахтырка). Тепловой поток рассчитан как на поверхности модели, так и на заданных глубинах. Точность решения стационарного уравнения теплопроводности с различными граничными условиями не превышает 0,6 %.

Ключевые слова: температура; тепловой поток; вычислительный эксперимент; модель.

Based on numerical modeling using the finite element method, the methodology for calculating the thermal regime of the Dnieper-Donetsk depression (Mikhailovka-Akhtyrka profile) is proposed. The heat

flow is calculated both on the model surface and at specified depths. The accuracy of solving the stationary heat equation with different boundary conditions does not exceed 0.6 %.

Keywords: temperature; heat flow; computational experiment; model.

Вступление. Впервые в 1932 г. русский и советский учёный-геолог А. Д. Архангельский ввел в научную литературу прочно укоренившийся термин «Днепровско-Донецкая впадина». Авторитетный учёный выделял впадину по третичным, меловым и, вероятно, юрским отложениям.

В современное время Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) является одним из наиболее изученных участков Восточно-Европейской платформы. Физико-математическое моделирование позволило исследователям обосновать геофизические критерии районирования территории впадины по нефтегазоносности.

Однако практически во всех геотермических моделях отсутствуют расчёты детального распределения теплового потока (ТП) по глубине. Геологический смысл таких вычислений не ясен и не изучен.

Анализ предыдущих исследований, формирование проблемы, актуальность её решения. В качестве основы для построения физико-геологической модели Днепровско-Донецкой впадины выбран профиль Михайловка-Ахтырка (с упрощениями), пересекающий впадину в центральной её части [1]. Профиль представлен на рис. 1.

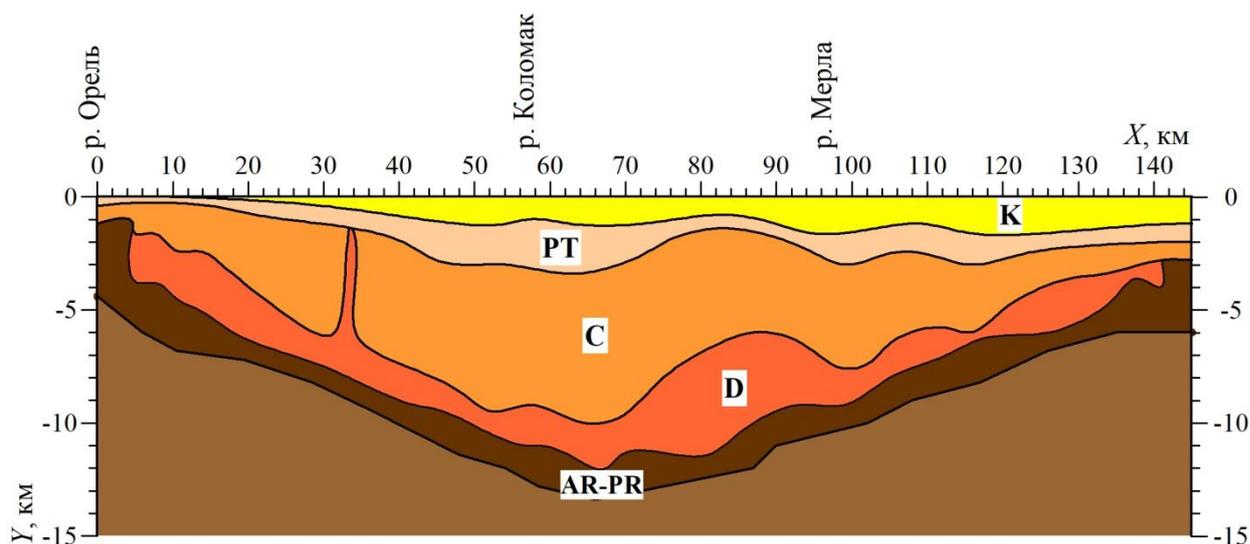


Рисунок 1 – Геологический разрез по профилю Михайловка-Ахтырка [1] с упрощениями

Ширина профиля составляет около 170 км, а ширина рифта – 130 км. Рифт ограничен серией разломов, по которым фундамент ступенчато погружается на глубину 11 км [2].

Характерной особенностью строения осадочной толщи в районе профиля является наличие девонской соли в прибортовой и центральной части рифта. Соленосная толща протяжённостью около 20 км и мощностью до 3 км расположена в юго-западной прибортовой области рифта. Далее к востоку она образует Санжарский шток. В центральной части рифта (район Матвеевской структуры) толща соленосных образований с прослоями терригенных пород образует купол [2].

Профиль пересекает несколько нефтегазоносных структур [2]: Ново-Николаевскую; Руденковскую; Суходоловскую; Восточно-Полтавскую; Матвеевскую; Голиковскую.

В окрестностях профиля пробурено довольно большое количество скважин, в которых были проведены геотермические измерения [3, 4].

На Юрьевской структуре в пределах борта впадины величина ТП достигает значения 56 мВт/м^2 .

На Новониколаевской структуре, расположенной в прибортовой части рифта, поток равен 40 мВт/м^2 .

Руденковская структура и прилегающие к ней площади расположены в области выклинивания соленосных горизонтов. Величины ТП в данном регионе изменяются от 34 до 42 мВт/м^2 .

Вблизи Санжарского и Матвеевского солевых штоков ТП увеличивается до $48\text{--}50 \text{ мВт/м}^2$.

В центральной части рифта, в зоне отсутствия соленосных отложений, значения ТП варьируют в пределах $35\text{--}38 \text{ мВт/м}^2$. По мере приближения к соленосному куполу поток увеличивается до $40\text{--}44 \text{ мВт/м}^2$.

Непосредственно у северо-восточного борта рифта ТП уменьшаются до $35\text{--}38 \text{ мВт/м}^2$.

Теплопроводность k осадочных пород ДДВ изменяется довольно в узких пределах [3, 4]: глины и слабоуплотнённые аргиллиты – $1,3\text{--}1,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; песчаники – $1,4\text{--}1,8$; известняки – $1,5\text{--}2,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Принимая во внимание тонкоритмичный характер чередования слоёв с разной теплопроводностью для вычислительных процедур при расчётах температур и ТП удобно пользоваться средними значениями $k_{\text{ср}}$.

Средняя теплопроводность глинисто-песчаных и глинисто-карбонатных образований [3, 4]: кайнозоя и мезозоя – $k_{\text{ср}} = 1,5 \pm 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; палеозоя – $k_{\text{ср}} = 1,7 \pm 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Примерно такой же k обладают вулканогенные породы верхнего девона.

Теплопроводность соленосных образований в разрезе осадочного слоя достигает высоких значений – $4,0\text{--}4,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

Для кристаллических пород фундамента $k_{\text{ср}} = 2,5\text{--}3,0 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$.

От особенностей литологического состава в разрезе зависит и распределение радиогенных источников тепла. В кайнозойских глинах генерация тепла достигает $1,5\text{--}1,6 \text{ мВт/м}^3$, а в палеозойских песчаниках – $0,6\text{--}0,8 \text{ мВт/м}^3$.

Отдельные литологические разности характеризуются иной теплогенерацией, но они не образуют массивных тел и поэтому не вызывают интенсивных аномалий теплового поля.

При расчётах температур и ТП за наиболее достоверное значение теплогенерации Q принимается осреднённая по разрезу величина, равная $1,2 \text{ мВт/м}^3$.

Достаточно подробные результаты расчётов ТП на поверхности и на любых глубинах геологической среды необходимы не только для классификации физико-математических свойств геотермических аномалий, но и в целом для разработки интегрированной системы интерпретации геолого-геофизической информации.

Однако сведения об абсолютной величине изучаемых параметров имеют подчинённое значение. Наиболее ценной информацией является отклик (отражение) в распределении теплового поля особенностей строения геологической среды и местонахождение полезных ископаемых. Указанная иерархия расчётных данных является фундаментальной основой актуальности физико-математического моделирования в геотермии.

Методология исследования. Физико-геологическая модель профиля Михайловка-Ахтырка охватывает его юго-западную часть (рис. 2). Ноль принят условно на борту впадины (топографическая привязка к р. Орель). На рисунке указаны используемые значения коэффициента теплопроводности.

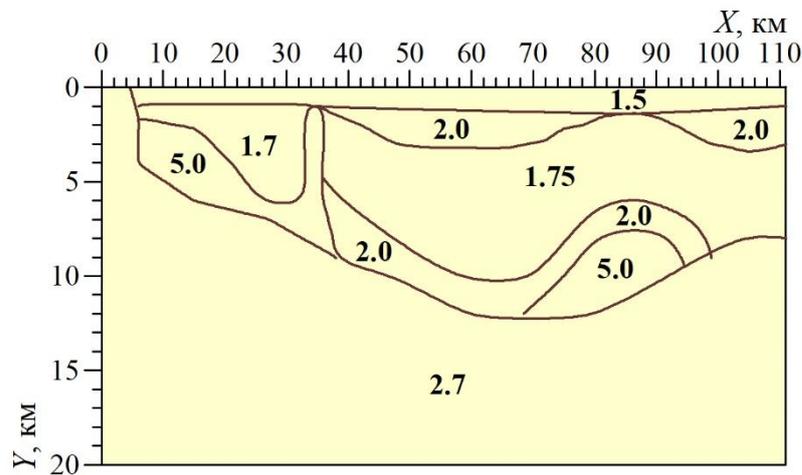


Рисунок 2 – Физико-геологическая модель Днепровско-Донецкой впадины

Определяющим уравнением поставленной задачи является уравнение Пуассона:

$$k \left\{ \frac{\partial^2 \hat{T}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \hat{T}}{\partial y^2} \right\} + Q = 0.$$

В качестве граничных условий принимаются: отсутствие ТП на боковых границах на достаточном удалении от рифта; постоянная температура $T = 9^\circ\text{C}$ на верхней границе модели; постоянный ТП $q = 40 \text{ мВт/м}^2$ на нижней границе модели.

Решение математической модели поставленной задачи получено с помощью численного метода конечных элементов (МКЭ), который позволяет получить высокоточное распределение температур и ТП в сложно построенной геологической среде. МКЭ способен с требуемой на практике точностью оценить влияние природных факторов как по отдельности, так и в совокупном их действии.

Конечно-элементная сетка для физико-геологической модели ДДВ (рис. 2) содержит 576 узлов и 1 050 элементов.

Полученные результаты, их обсуждение. Исследование математической модели проводилось с помощью вычислительного эксперимента на основе факторно-диапазонной оценки [5]. Такой подход позволяет оперативно оценить влияние каждого теплофизического параметра. Иными словами, проводятся серии расчётов для изучения влияния различных теплофизических параметров, которые включаются в математическую модель последовательно.

Вычислительные эксперименты позволили выбрать граничные условия (они указаны выше), при которых наилучшим образом согласуются рассчитанные и наблюдаемые ТП (рис. 3). Полученные расхождения не превышают точности осреднения ТП, и могут быть связаны с погрешностями наблюдений и условиями определения тепловых потоков по скважинам.

Причиной колебаний ТП не только на поверхности разреза, но и по глубине является присутствие неоднородностей земной коры (рис. 3, 4). Информационная «жизнь» скачкообразных изменений наглядно свидетельствует о местонахождении соленосных отложений.

На рис. 5 представлено распределение температуры. Ход изотерм указывает присутствие пород с высокой теплопроводностью.

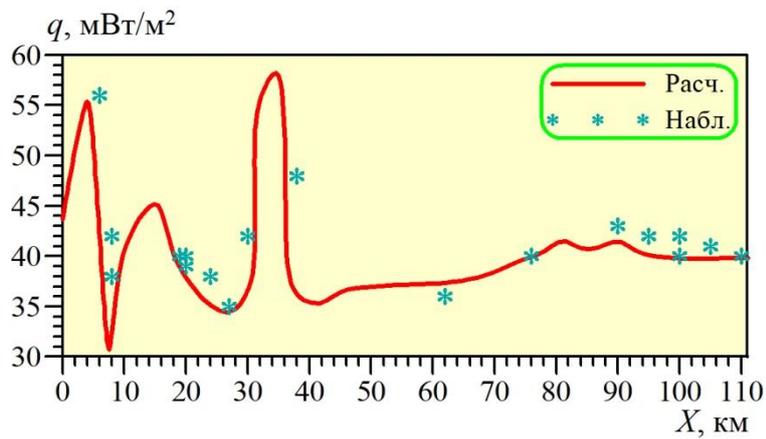


Рисунок 3 – Распределение поверхностного ТП

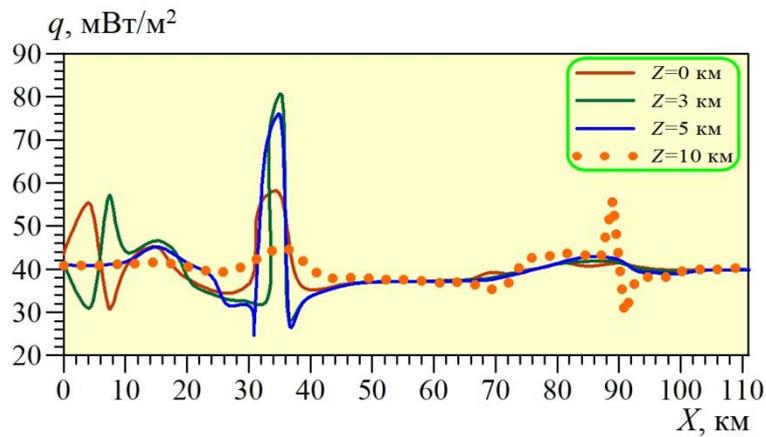


Рисунок 4 – Распределение ТП на глубинах 0, 3, 5, 10 км

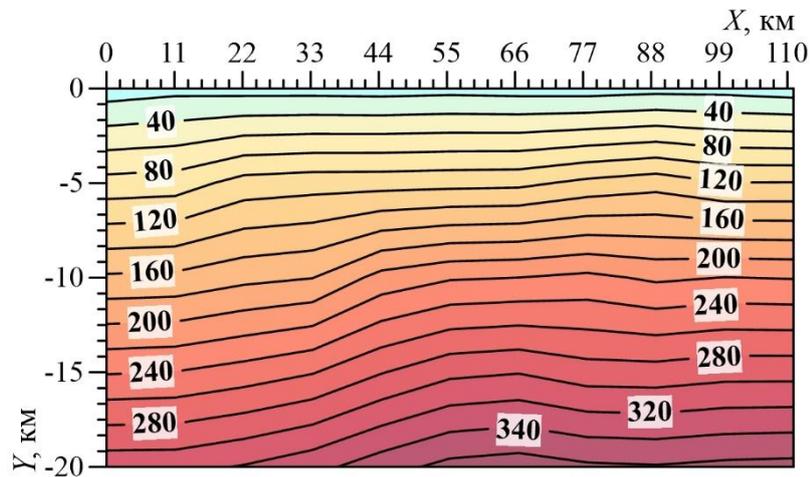


Рисунок 5 – Распределение температуры

Выводы. Аномалии теплового поля обусловлены большим числом разнообразных природных факторов: рельеф, структурный эффект, седиментация и эрозия, складчатость и энергопреобразующие процессы, изменения теплофизических свойств среды. Применение метода

конечных элементов позволяет найти способы наиболее полного учёта геолого-геофизических данных. В процессе исследования возможен доступ к любому элементу среды.

Таким образом, проведение количественного анализа влияния какого-либо элемента среды на структуру теплового поля в любой точке исследуемой области не вызывает вычислительных трудностей. Поэтому смело можно ставить перед собой задачу о выделении именно «чистых аномалий» теплового поля для любого участка земной поверхности.

Создание полностью отлаженных универсальных, оптимальных и свободных от дискуссионных положений, алгоритмов и программ – дело довольно трудное, а иногда и совершенно невозможное. Как бы исследователи ни совершенствовались в вычислительной технике и вычислительной математике, они никогда не создадут общеприменимых и универсальных программ. Для создания таких программ необходимо бесконечное число алгоритмов. На практике гораздо эффективнее работают экономичные алгоритмы и гибкие вычислительные программы для решения задач геотермии по их целевой и практической направленности. Всегда следует помнить о рациональной области используемых численных методов.

Библиографические ссылки

1. Атлас геологического строения и нефтегазоносности Днепроовско-Донецкой впадины / Ю. А. Арсирый, А. А. Билык, М. И. Бланк и др. Киев : Мингео УССР, 1984.
2. Гавриш В. К., Забелло Г. Д., Рябчун Л. И. Геология и нефтегазоносность Днепроовско-Донецкой впадины. Глубинное строение и тектоническое развитие. Киев : Наук. думка, 1989.
3. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Усенко О. В. Тепловое поле территории Украины. Киев : Знание, 2002.
4. Кутас Р. И., Гордиенко В. В. Тепловое поле Украины. Киев : Наук. думка. 1971.
5. Бахова Н. И. Вычислительный эксперимент в современной геофизике // Вестн. НАУ, 2009. Т. 40, № 3. С. 262–270.

УДК 550.36(045)

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ДНЕСТРОВСКО-ПРУТСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Н. И. Бахова

Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,
пр. Палладина 32, 03680 Киев, Украина; bakhova.nataly@gmail.com

Рассматриваются вопросы теплового состояния Днестровско-Прутского междуречья. Приведены данные о температурах, градиентах температуры и тепловых потоках ряда структур междуречья. Анализируются закономерности распределения теплофизических параметров с учётом геологического строения региона и особенностей его тектоники.

Ключевые слова: температура; тепловой поток; Днестровское-Прутское междуречье.

The thermal state issues of the Dniester-Prut interfluve are considered. Data on temperatures, temperature gradients and heat flows of a number of interfluve structures are presented. The regularities of the thermophysical parameters distribution are analyzed taking into account the region geological structure and the features of its tectonics.

Keywords: temperature; heat flow; the Dniester-Prut interfluve.

Вступление. Территория Днестровско-Прутского междуречья длительное время оставалась «белым пятном» на картах распределения температур и тепловых потоков (ТП). Тепловое состояние сложного и интересного по своему строению региона и сейчас изучено очень слабо. Геотермические наблюдения дают лишь общую характеристику теплового режима междуречья.