



УДК 550.36

В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко, О. В. Завгородняя

Тепловое поле юго-восточной части Днепровского бассейна Днепровско-Донецкой впадины

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

Проведен расчет глубинного теплового потока по данным из 182 скважин. Они сгруппированы в 104 пунктах. Полученное уплотнение сети ликвидирует некоторые "белые пятна" в изученности теплового потока юго-восточной части ДДВ. К юго-западному краевому разлому ДДВ приурочена цепочка положительных аномалий теплового потока, превышающих 50 мВт/м^2 . Вблизи центра региона аномальные тепловые потоки превышают 70 мВт/м^2 . Отрицательные аномалии теплового потока распространены в регионе заметно шире. Часть из них тяготеет к активизированным разломным зонам. Анализ данных и сопутствующей информации позволяет считать повышенные тепловые потоки следствием современной активизации.

Несмотря на значительную плотность сети определений глубинного теплового потока (ТП) в пределах Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) [1] здесь все еще остается недостаточно проясненным вопрос о наличии возмущений теплового поля значительной площади. На основной части структуры (в Днепровском бассейне) до сих пор встречены почти исключительно локальные всплески ТП в отдельных скважинах, исчезающие на расстояниях порядка километра от них. Такие аномалии отмечают места гидротермального тепломассообмена, в результате которого образуются, в частности, месторождения углеводородов. Разрозненность возмущений указывает на очень молодой возраст коровой части процесса современной активизации, в который составной частью входит упомянутый тепломассообмен. Сама активизация подтверждается множеством негеотермических признаков, которые будут рассмотрены ниже. В данной же работе предпринята попытка дополнительного изучения теплового поля части Днепровского бассейна ДДВ для выявления аномалий теплового потока большего размера. Они могут быть истолкованы как указания на более зрелую стадию активизации.

Интерес (в том числе — и прагматический: имеется в виду районирование впадины по уровню нефтегазоносности) представляет и изучение простираения аномалий теплового потока. До сих пор продольные зоны наиболее интенсивной активизации в ДДВ выделялись только по негеотермическим признакам.

© В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко, О. В. Завгородняя, 2014

Новые определения ТП. Изучение теплового потока было проведено в скважинах в Талалаевско-Рыбальского, Рябухинско-Сев. Голубовского, Глинско-Солоховского, Машевско-Шебелинского и Руденковско-Пролетарского нефтегазоносных районов, т. е. в пределах наибольшего распространения месторождений углеводородов впадины. Юго-восточным ограничением района исследований принята окраина зоны перехода от ДДВ к Донбассу (табл. 1). Положение этой границы у разных авторов не совпадает [2], для наших целей удобно использовать в этом качестве Орехово-Павлоградский глубинный разлом, разделяющий территории с существенно разным тепловым полем.

Расчет теплового потока осуществлялся по данным о результатах измерений температуры потенциально продуктивных пластов в процессе испытаний скважин. Проведенный анализ позволил утверждать, что они не более искажены тепловыми эффектами бурения, чем используемые обычно авторами в районах нефтегазового бурения забойные температуры. Изучено возможное влияние на температуру дроссельного эффекта, возникающего при вскрытии газоносных пластов. Для этого сопоставлены результаты расчета ТП по интервалам глубин, где испытывались газо-, нефте- и водоносные образования повышенной пористости. Помеха значительной интенсивности не была обнаружена.

К рассмотрению привлечены архивные материалы каротажных экспедиций Мингео УССР (преимущественно — Балаклейской и Полтавской), они дополнены информацией из [3].

Тепловой поток определялся обычным образом — как произведение геотермического градиента на теплопроводность пород. Последняя устанавливалась в виде средней эффективной величины в больших интервалах глубин. Для ДДВ это многократно апробированная практика, дающая хорошие результаты. Средние величины теплопроводности определены по геологическим разрезам скважин и сведениям о теплопроводности пройденных ими пород разного возраста и литологии [1, 2]. Вариации теплопроводности находятся в пределах 10–15%, как правило, ее величины различаются не более 5–10%. Геотермический градиент устанавливался в виде среднего значения на базе между глубинной и приповерхностной точками. В качестве последней использовались данные многолетних измерений температуры на метеостанциях и в мелких скважинах (лишь часть из них располагалась внутри впадины, остальные — на склоне Воронежского массива и Украинского щита). Поскольку глубины измерений пластовых температур довольно значительны (500–5500 м, причем минимальные использовались редко и ни в одном из случаев применение температур, установленных на этих глубинах, не привело к расчету ТП, заметно отличного от полученных в других интервалах глубин), поверхностная температура была принята постоянной — 9 °С.

Перед вычислением геотермического градиента в измеренные температуры вносились поправки, учитывающие влияния палеоклимата и инфильтрации поверхностных вод с изменяющейся с глубиной интенсивностью [1]. Влияние структурного фактора в Днепровском бассейне (понижение ТП из-за экранирования мезокайнозойским чехлом относительно низкой теплопроводности) признано незначительным. Доказательством этому послужило сравнение расчетных ТП выше и ниже основной границы изменения теплопроводности пород. Расчет глубинного ТП проведен по данным, полученным в 182 скважинах на месторождении нефти и газа. Результаты представлены в табл. 1. Они сгруппированы в 104 пунктах. Определения теплового потока в прошлом выполнены на изучаемой территории примерно в 500 пунктах [2]. Получено не очень значительное уплотнение сети, однако с его помощью удастся ликвидировать некоторые “белые пятна” в изученности ТП бассейна, уточнить контуры изолиний теплового потока. Сравнение новых результатов определения ТП

с полученными в тех же скважинах ранее по другой методике (и, как правило, в другом интервале глубин) или в соседней скважине на той же структуре; рис. 1 показывает, что типичные различия составляют 2 мВт/м². Погрешность определения каждой из методик не превышает 5%, особенно, если учесть очень существенные осреднения данных, выно-

Таблица 1. Новые определения теплового потока Земли в юго-восточной части Днепровского бассейна Днепровско-Донецкой впадины

С. ш.	В. д.	ТП, мВт/м ²	С. ш.	В. д.	ТП, мВт/м ²	С. ш.	В. д.	ТП, мВт/м ²	С. ш.	В. д.	ТП, мВт/м ²
50°28'	34°04'	46	49°53'	35°07'	42	49°24'	34°48'	77	49°02'	35°01'	55
50°27'	34°03'	41	49°53'	35°13'	50	49°24'	34°49'	79	49°02'	35°03'	56
50°26'	34°04'	44	49°53'	34°16'	51	49°25'	34°48'	47	49°01'	35°01'	53
50°26'	34°05'	45	49°52'	35°12'	43	49°32'	34°18'	47	49°01'	35°02'	52
50°23'	34°07'	46	49°51'	34°23'	43	49°32'	34°20'	50	49°01'	35°09'	46
50°23'	34°15'	43	49°51'	34°24'	42	49°33'	34°19'	44	49°00'	35°02'	53
50°22'	34°08'	44	49°50'	34°24'	43	49°33'	34°47'	42	49°00'	35°04'	45
50°21'	34°07'	46	49°50'	34°25'	43	49°29'	34°17'	47	49°00'	35°03'	44
50°15'	34°26'	48	49°50'	35°07'	48	49°22'	34°07'	54	49°00'	35°05'	44
50°14'	34°19'	44	49°49'	35°06'	48	49°23'	34°07'	53	49°00'	35°09'	41
50°13'	34°25'	47	49°49'	34°35'	49	49°21'	34°07'	55	48°59'	35°10'	43
50°13'	34°26'	46	49°49'	34°36'	48	49°22'	34°08'	56	48°59'	35°16'	48
50°11'	35°06'	51	49°48'	34°34'	50	49°23'	34°13'	53	48°59'	35°04'	44
50°10'	34°41'	43	49°48'	34°35'	50	49°24'	34°13'	48	48°58'	35°09'	46
50°08'	34°51'	49	49°48'	35°13'	41	49°21'	34°23'	48	48°58'	35°10'	42
50°07'	34°22'	40	49°45'	34°42'	46	49°20'	34°12'	39	48°58'	35°05'	43
50°07'	34°42'	39	49°45'	35°14'	43	49°20'	35°21'	34	48°58'	35°04'	45
50°07'	34°43'	42	49°43'	34°45'	36	49°20'	34°13'	41	48°58'	35°16'	46
50°07'	34°49'	49	49°42'	34°45'	38	49°20'	34°23'	45	48°57'	35°10'	47
50°07'	34°50'	49	49°43'	34°46'	38	49°20'	34°24'	45	48°54'	35°18'	37
50°06'	34°40'	43	49°42'	34°11'	40	49°20'	34°42'	41	48°53'	35°18'	48
50°06'	34°41'	41	49°41'	34°11'	43	49°19'	35°22'	36	48°52'	35°18'	37
50°06'	34°42'	45	49°38'	34°09'	43	49°19'	35°37'	35	48°52'	35°19'	47
50°06'	34°43'	43	49°38'	34°21'	43	49°19'	34°13'	40	48°52'	35°24'	31
50°05'	34°41'	40	49°37'	34°17'	45	49°19'	34°11'	42	48°51'	35°24'	33
50°05'	34°42'	43	49°36'	34°17'	44	49°19'	34°42'	40	49°09'	34°42'	61
50°03'	35°04'	44	49°36'	34°18'	50	49°19'	34°12'	52	49°08'	34°44'	59
50°02'	34°30'	45	49°36'	34°20'	41	49°19'	34°41'	41	49°07'	34°43'	59
50°02'	35°09'	38	49°36'	35°02'	35	39°18'	34°11'	42	49°07'	34°44'	57
50°01'	35°09'	39	49°35'	35°02'	39	49°18'	34°12'	39	49°07'	34°59'	44
50°01'	34°28'	46	49°35'	35°03'	35	49°18'	34°42'	41	49°06'	34°43'	59
50°01'	34°29'	46	49°34'	35°15'	34	49°18'	34°43'	40	49°06'	34°44'	59
50°00'	34°28'	46	49°33'	35°10'	32	49°17'	35°02'	46	49°05'	34°53'	37
50°00'	35°08'	38	49°33'	35°15'	29	49°16'	35°02'	45	49°05'	34°48'	51
50°00'	34°30'	41	49°32'	35°11'	33	49°11'	34°38'	51	49°04'	34°43'	47
50°00'	34°31'	45	49°30'	35°23'	42	49°10'	34°38'	56	49°04'	34°47'	48
49°59'	35°16'	45	49°30'	35°31'	35	49°12'	34°37'	67	49°04'	34°53'	39
49°58'	35°16'	46	49°30'	35°32'	39	49°11'	34°45'	40	49°04'	34°58'	46
49°56'	34°47'	39	49°30'	35°36'	38	49°10'	34°46'	45	49°04'	34°59'	55
49°54'	34°56'	48	49°29'	35°31'	36	49°12'	34°51'	57	49°03'	34°53'	38
49°54'	34°03'	43	49°29'	35°36'	38	49°11'	34°51'	52	49°03'	34°45'	46
49°54'	34°15'	47	49°29'	35°47'	41	49°12'	34°50'	55	49°02'	34°45'	49
49°54'	35°07'	43	49°27'	35°39'	37	49°08'	34°42'	56	49°02'	34°44'	49
49°54'	35°08'	42	49°26'	35°39'	38	49°08'	34°41'	52	49°02'	35°02'	52
49°54'	35°13'	45	49°25'	35°47'	39						

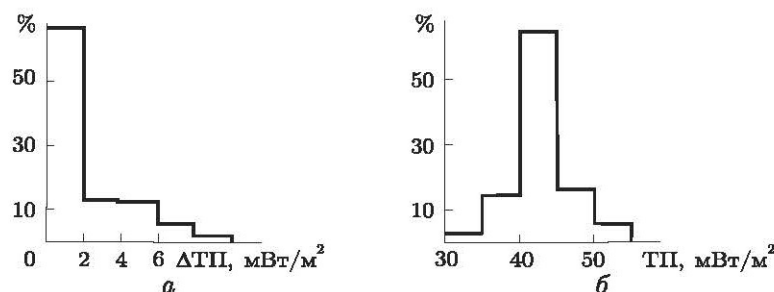


Рис. 1. Гистограммы: различий между значениями ТП (а), определенными по разным методикам (см. текст); распределения площадей с разными ТП в юго-восточной части Днепровского грабена (б)

симых на карту теплового потока региона. Изолинии теплового потока можно проводить через $5 mW/m^2$.

Распределение значений теплового потока в изучаемой части Днепровского бассейна лучше оценивать, используя характеристики, связанные с относительными площадями распространения значений ТП разного уровня, чем с количеством этих значений на территории региона. Именно так построена гистограмма на рис. 1.

Среднее значение теплового потока — около $43 mW/m^2$ — типично для ДДВ и вообще для платформенной части территории Украины, включая Украинский щит. Т. е. значительные по площади положительные аномалии, во всяком случае, не распространены. Можно назвать только одну структуру в регионе, к которой явно приурочена цепочка положительных аномалий ТП. В их пределах его значение превышает $50 mW/m^2$. Это — юго-западный краевой разлом ДДВ (рис. 2). Среднее значение ТП в контурах изолиний $50 mW/m^2$ составляет $54-55 mW/m^2$, в двух пунктах отмечены значения $61-67 mW/m^2$, т. е. имеется вполне достоверная аномалия, интенсивность которой может превышать $20 mW/m^2$. Это распространенная величина для зон современной активизации Украины [1].

За пределами этой цепочки возмущений аномалию, выделяемую изолинией $50 mW/m^2$, удастся оконтурить (т. е. получить повышенные значения ТП не менее, чем в трех пунктах) только в одном месте вблизи центра региона (см. рис. 2). Здесь максимальные ТП превышают $70 mW/m^2$.

Значение отрицательные аномалии ТП распространены в регионе заметно шире (см. рис. 1, 2). Часть из них тяготеет к активизированным разломным зонам. Можно предположить наличие аномальных перетоков подземных вод в этих зонах [5], которые не полностью учтены использованными поправками.

Обсуждение результатов. Оценка аномальности ТП возможна сравнением наблюдаемых и расчетных значений параметра, отвечающих теплогенерации пород коры и нормальному тепловому потоку из мантии [1]. Для вычислений использована связь теплогенерации и скорости продольных волн, распределение которой получено вдоль профилей ГСЗ XXIII ГТ VI. При расчете учитывался вероятный прогрев коры в процессе современной активизации [2]. Предполагалось, что бассейн охвачен им на всю ширину. В этом случае поправки, понижающие теплогенерацию и повышающие аномалию, окажутся максимальными. Результаты приведены на рис. 3.

Выявленные положительные аномалии ТП малоинтенсивны, т. е. даже визуально очевидная цепочка (см. выше) возмущений существенно не влияет на среднюю в полосе величину теплового потока. Флуктуации в первые милливатт на квадратный метр могут быть

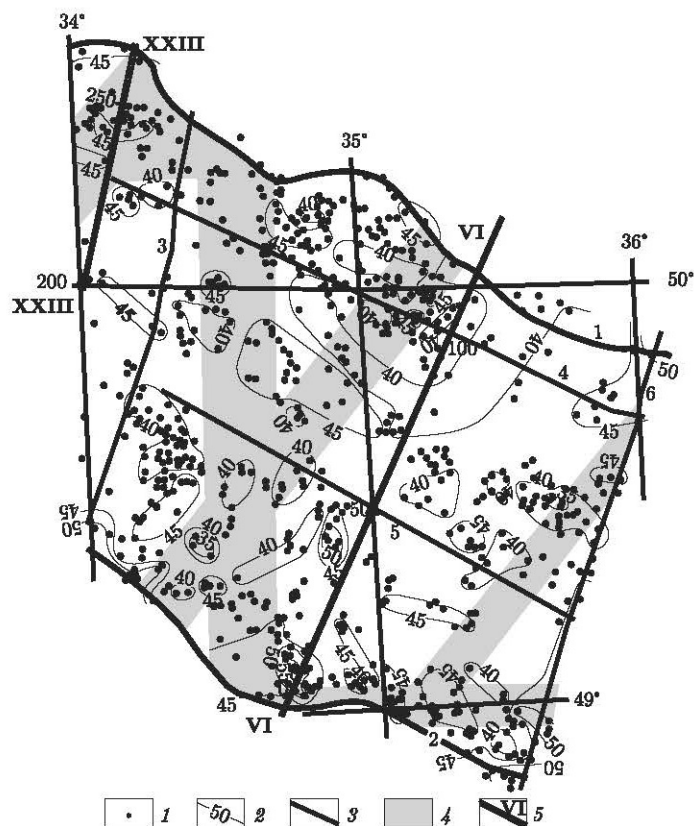


Рис. 2. Распределение теплового потока в юго-восточной части Днепровского бассейна:

1 — пункты определений ТП, 2 — изолинии ТП, мВт/м²; 3 — основные разломы (1, 2 — краевые ДДВ, 3 — Криворожско-Кременчугский, 4, 5 — краевые рифейского грабена ДДВ, 6 — Орехово-Павлоградский), 4 — зоны разломов, активизированных в последние 3 млн лет [4] (из-за своей очень большой ширины не показаны зоны активизации у краевых разломов ДДВ); 5 — профили ГСЗ

и случайными. С другой стороны, локальные аномалии довольно широко распространены в регионе (см. рис. 3). Вместе с проявлениями аномально высоких пластовых давлений (АВПД) они определенно указывают на наличие на глубине напорных горячих флюидов. Остается предположить, что процесс начался недавно (порядка 100 тыс. лет назад) и объемы пород вокруг проницаемых зон, подводящих снизу на глубину в несколько километров горячие растворы с углеводородами, еще не прогрелись.

Наличие современной активизации (и, более того, ее мантийного этажа) подтверждают и данные по изотопии гелия. Расчет показывает, что фоновое значение R во впадине должно составлять около 2 ± 2 . Однако данных слишком мало, можно предположить, что процесс наиболее активен вблизи юго-западного краевого разлома ДДВ и северо-восточного краевого разлома рифейского грабена (см. рис. 3).

Сами по себе месторождения углеводородов также указывают на активизацию. Плотность (F) запасов определялась как сумма всех запасов месторождений [3] в пределах полосы шириной 12,5 км, пересчитанных в тонны условного топлива (т у.т.), деленная на площадь полосы. Максимум приурочен к рифейскому грабену ДДВ.

Мантийная гравитационная аномалия в регионе (средняя для расчетных профилей [2]) достигает достоверного уровня, указывает на современную активизацию. Максимумы ано-

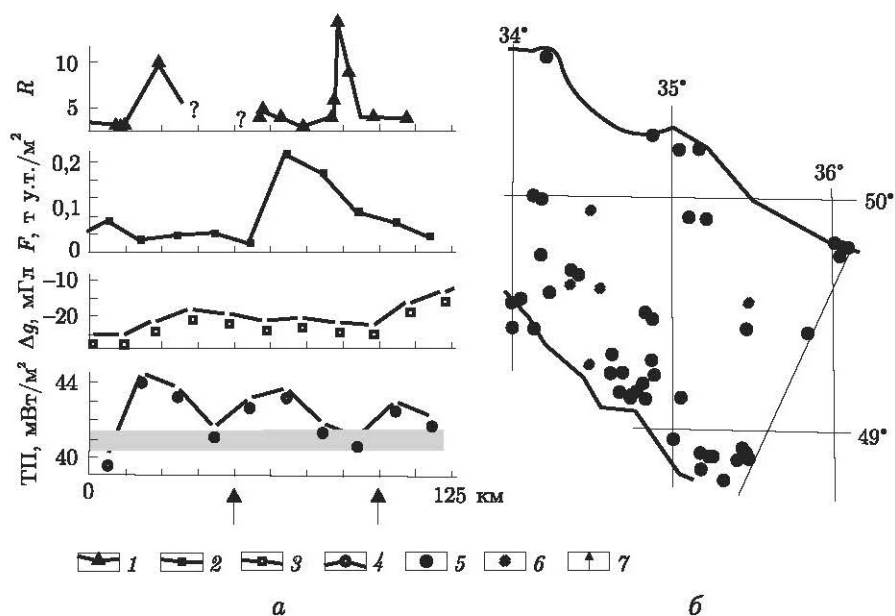


Рис. 3. Признаки современной активизации юго-восточной части Днепровского бассейна ДДВ:
 а: распределение изотопии гелия — R ($R = {}^3\text{He}/{}^4\text{He} \cdot 10^8$) (1), плотности запасов месторождений углеводородов — F (2), мантийной гравитационной аномалии (Δg), средних величин ТП в пределах полос вдоль впадины шириной 12,5 км (4);
 б: распределение пунктов с ТП 50 мВт/м² и выше (5) и с АВПД (6);
 расположение зон краевых разломов рифейского грабена ДДВ (7)

малии малоинтенсивны, они расположены вблизи юго-западного краевого разлома ДДВ и северо-западного краевого разлома рифейского грабена.

Скоростные разрезы вдоль профилей ГСЗ XXIII и ГТ VI позволяют наметить аномалии, которые могут быть связаны с перегревом средней и нижней коры. Они обнаруживаются в окраинной северо-восточной части впадины [1]. Вблизи юго-западного краевого разлома ДДВ на скоростном разрезе вдоль профиля ГСЗ XXIII обнаружена пониженная скорость продольных волн под разделом М (7,8 км/с). Другие отличия разрезов от типичных для Украинского щита нельзя определенно увязать с современной активизацией региона.

Таким образом, новые исследования глубинного теплового потока части Днепровского бассейна ДДВ дали возможность уточнить характеристики теплового поля региона, выделить несколько локальных аномалий и цепочку небольших по площади положительных возмущений ТП, возможно, образующих одну аномалию, вытянутую вдоль юго-западного края впадины. Анализ этих данных и сопутствующей информации позволяет считать повышенные ТП следствием современной активизации.

1. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Усенко О. В. Тепловое поле территории Украины. — Київ: Знання України, 2002. — 170 с.
2. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Пек И., Тарасов В. Н., Усенко О. В. и др. Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы). — Киев: Корвін пресс, 2006. — 142 с.
3. Атлас родовищ нафти і газу України: В 6 т. / За ред. М. М. Іванюти та ін. — Львів, 1998–1999. — Т. 1–6.

4. *Верховцев В. Г.* Новітні вертикальні рухи земної кори території України, їх взаємовідношення з лінійними та кільцевими структурами // *Енергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання*. – Київ: ВПЦ “Київський університет”, 2006. – С. 129–137.
5. *Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в естественных условиях* – Київ: Наук. думка, 1989. – 286 с.

*Институт геофизики им. С. И. Субботина
НАН Украины, Киев*

Поступило в редакцию 26.06.2013

В. В. Гордієнко, І. В. Гордієнко, О. В. Завгородня

Теплове поле південно-східної частини Дніпровського басейну Дніпровсько-Донецької западини

Проведено розрахунок глибинного теплового потоку за даними з 182 свердловин. Вони згруповані в 104 пунктах. Отримане ущільнення мережі ліквідує деякі “білі плями” у вивченості теплового потоку південно-східної частини ДДЗ. До південно-західного крайового розлому ДДЗ приурочений ланцюжок позитивних аномалій теплового потоку, що перевищують 50 мВт/м². Поблизу центру регіону аномальні теплові потоки перевищують 70 мВт/м². Негативні аномалії теплового потоку поширені в регіоні помітно ширше. Частина з них тягнє до активізованих розломних зон. Аналіз даних та супутньої інформації дозволяє вважати підвищені теплові потоки наслідком сучасної активізації.

V. V. Gordienko, I. V. Gordienko, O. V. Zavgorodnjaja

Heat field of the south-eastern part of the Dnieper basin of Dnieper-Donets depression

The values of the deep heat flow were studied in 182 boreholes. They are grouped into 104 points. The resulting densification of the network eliminates some of the “white spots” in the study of the heat flow of the south-eastern part of the DDD. A chain of positive anomalies of the heat flow exceeding 50 mW/m² is assigned to the south-western boundary DDD fault. Near the center of the region, the highest heat flows exceed 70 mW/m². The negative heat flow anomalies are common in the region considerably wider. Some of them tend to the activated fault zones. The analysis of data and related information allows us to consider the increased heat flows as a consequence of the modern activation.