

В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко

## Новые определения глубинного теплового потока Земли в Карпатском регионе

*(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)**Встановлено нові значення глибинного теплового потоку Землі (ТП) у 44 пунктах та проведено незалежні повторні визначення ТП у 45 пунктах Карпатського регіону на родовищах нафти і газу. Визначено аномалії, які вірогідно пов'язані з підйомом глибинних флюїдів.*

Плотность сети геотермических исследований в отдельных частях Карпат и Предкарпатья на сегодня максимальна для Украины. Особенно много значений глубинного теплового потока Земли (ТП) установлено в Предкарпатском и Закарпатском прогибах [1]. Однако и здесь зачастую информации оказывается недостаточно для выявления локальных аномалий, имеющих, в частности, важное значение для исследования связи нефтегазонасности с глубинными процессами. Поэтому необходимо использовать все возможности для дополнительных определений ТП на их территории. Одной из них и воспользовались авторы, привлекая для расчета теплового потока результаты измерений пластовых температур ( $T_{пл}$ ), выполненных при испытаниях скважин на ряде месторождений углеводородов Карпат.

**Методика определений ТП.** Ранее для расчета геотермического градиента при массовых определениях ТП в регионе применялись забойные температуры. Они считались наименее искаженными эффектом циркуляции бурового раствора в процессе проходки скважины, такое мнение подтверждено специальным анализом [1]. На роль близких к неискаженным температурам могут претендовать и температуры, полученные при испытаниях пластов: в этом случае практически измеряется температура флюида, поступающего в значительном количестве в скважину из проницаемого пласта, а не бурового раствора. Это утверждение необходимо проверить: рассмотрим данные о пластовых температурах, взятые из документации по скважинам и данные [2].

Установить погрешность определения температуры при испытаниях пластов можно, сравнив точечные результаты на разных глубинах с осредняющей линией. Очевидно, что упрощенная линейная термограмма отличается от локальных значений  $T$  на разных глубинах сильнее, чем более реальная плавная кривая, наклон которой изменяется в связи с изменением теплопроводности пород. Отклонения точечных значений от линии могут быть связаны и с использованием данных по разным скважинам и даже блокам месторождения: не во всех случаях есть сведения о месте измерения температуры. Тем не менее (рис. 1) средние отклонения не превышают  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что является вполне приемлемой погрешностью при определении геотермического градиента на базе нескольких сотен метров и больше. Исключения появляются на сравнительно небольших глубинах.

Соответствие точечных результатов линейным термограммам указывает и на выдержанность теплопроводности пород региона в значительных интервалах глубин.

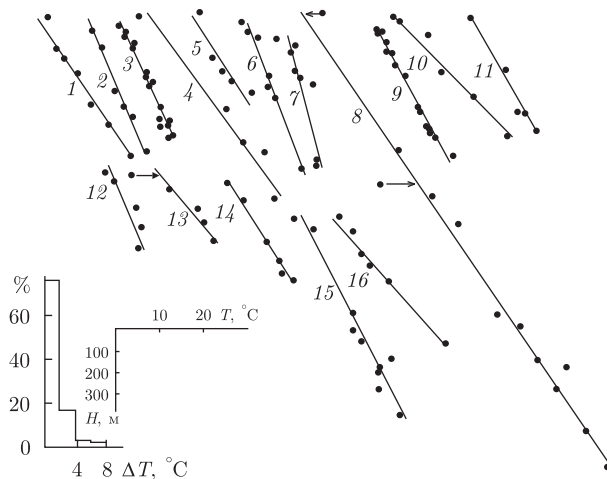


Рис. 1. Распределение с глубиной температур на месторождениях углеводородов Предкарпатского прогиба, полученных при испытаниях продуктивных горизонтов и гистограмма распределения отклонений  $T$  от сглаживающей прямой.

Месторождения: 1 — Садковичское, 2 — Ходновичское, 3 — Грыновское, 4 — Пынянское, 5 — Свидницкое, 6 — Косовское, 7 — Иваниковское, 8 — Залужанское, 9 — Летнянское, 10 — Русско-Комаровское, 11 — Гайское, 12 — Выжомлянское, 13 — Кавское, 14 — Вишнянское, 15 — Угерское, 16 — Рудковское

Погрешность определения геотермического градиента резко увеличивается с приближением к поверхности из-за неопределенности данных о поверхностной температуре ( $T_0$ ). Региональное значение параметра может существенно отличаться от локального: в предгорьях Карпат распространены районы с микроклиматом. Поэтому, как правило, не использовались результаты измерений температур на глубинах менее 500 м. Исключение сделано для случаев, когда ТП на небольших глубинах совпадали с установленными глубже. Значения  $T_0$ , использованные при расчетах, изменялись в основном в пределах от 6 до 8 °С, в Закарпатском прогибе — от 10 до 11 °С.

При расчете геотермического градиента глубинные  $T$  исправлялись с учетом палеоклимата [1]. Оценки вероятных величин других поправок показали, что их суммарные величины не превосходят предполагаемой погрешности определения теплового потока. Соответственно, они не использовались.

Теплопроводность моласс Внешней зоны Предкарпатского прогиба была принята постоянной — 1,8 Вт/(м·°С), мел-палеогенового флиша Складчатых Карпат — 2,65 Вт/(м·°С) [1]. Значение параметра для конкретной скважины определялось в зависимости от относительного количества этих разновидностей пород в разрезе.

**Результаты определения ТП.** Расчет глубинного теплового потока выполнен в 117 скважинах преимущественно в Предкарпатском прогибе (с точки зрения авторов Внутренняя зона прогиба принадлежит Складчатым Карпатам, здесь в складках и надвигах участвуют и неогеновые молассы) — 109 скважин. За его пределами ТП установлены на Локачинском месторождении Вольно-Подольской плиты (4 скважины), Великомоствовском месторождении Львовского прогиба (1 скважина), Русско-Комаровском (2 скважины) и Королевском (1 скважина) месторождениях Закарпатского прогиба.

В значительной части случаев тепловые потоки по новой методике (ТП<sub>2</sub>) установлены в тех же скважинах, где ранее уже были известны их величины (ТП<sub>1</sub>). Такая ситуация складывается для 61 скважины на 44 месторождениях. В других случаях номера скважин,

в которых определены новые ТП, не удалось установить. Известны только названия месторождений — 56 скважин на 42 месторождениях. На части этих месторождений ранее не было определений ТП — 20 скважин на 20 месторождениях.

Сравнивая величины теплового потока в каждой из скважин, где он установлен дважды (табл. 1), можно оценить погрешность определения параметра. Результаты показаны на рис. 2, а в виде гистограммы  $\Delta TP = TP_2 - TP_1$ . Очевидно, что типичная величина различия составляет около 5 мВт/м<sup>2</sup>, что указывает на погрешность  $TP_2$ , не превышающую

Таблица 1. Результаты новых определений ТП в Карпатском регионе

| С. ш.  | В. д.  | ТП <sub>1</sub> | ТП <sub>2</sub> | С. ш.  | В. д.  | ТП <sub>1</sub> | ТП <sub>2</sub> | С. ш.  | В. д.  | ТП <sub>1</sub> | ТП <sub>2</sub> |
|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|--------|-----------------|-----------------|--------|--------|-----------------|-----------------|
| 50°44' | 24°45' | 50              | 53              | 49°23' | 23°43' | 60              | 62              | 49°15' | 23°27' | 64              | 57              |
| 50°43' | 24°46' | 48              | 49              | 49°22' | 23°47' | 57              | 57              | 49°16' | 23°36' |                 | 53              |
| 50°42' | 24°43' | 48              | 52              | 49°22' | 23°48' | 64              | 68              | 49°12' | 23°30' | 62              | 58              |
| 50°42' | 24°42' | 49              | 52              | 49°23' | 23°48' |                 | 66              | 49°12' | 23°36' |                 | 69              |
| 50°20' | 24°10' | 54              | 51              | 49°22' | 23°47' |                 | 68              | 49°09' | 23°40' | 55              | 55              |
| 49°55' | 23°18' |                 | 82              | 49°25' | 23°55' | 62              | 64              | 49°12' | 23°41' |                 | 58              |
| 49°54' | 23°20' |                 | 82              | 49°25' | 23°55' | 64              | 67              | 49°10' | 23°43' |                 | 59              |
| 50°00' | 23°15' | 84              | 72              | 49°20' | 23°45' |                 | 64              | 49°06' | 23°46' | 48              | 56              |
| 49°56' | 23°18' |                 | 83              | 49°20' | 23°45' |                 | 64              | 49°05' | 23°45' | 63              | 64              |
| 49°56' | 23°19' |                 | 79              | 49°23' | 23°42' |                 | 67              | 49°00' | 24°00' |                 | 50              |
| 49°51' | 23°28' |                 | 80              | 49°20' | 23°49' | 56              | 57              | 49°04' | 24°03' |                 | 47              |
| 49°45' | 23°23' | 63              | 63              | 49°21' | 23°54' | 59              | 64              | 49°00' | 23°51' | 53              | 53              |
| 49°32' | 23°38' | 65              | 71              | 49°19' | 23°54' |                 | 60              | 49°01' | 23°55' |                 | 51              |
| 49°45' | 22°56' |                 | 68              | 49°17' | 24°02' |                 | 66              | 48°57' | 24°09' |                 | 49              |
| 49°45' | 22°56' | 64              | 68              | 49°06' | 24°03' |                 | 55              | 48°54' | 24°05' | 56              | 56              |
| 49°40' | 23°04' | 49              | 53              | 49°05' | 24°25' |                 | 63              | 48°54' | 24°03' | 62              | 56              |
| 49°39' | 23°05' | 55              | 56              | 49°05' | 24°25' |                 | 58              | 48°54' | 24°03' |                 | 80              |
| 49°37' | 23°15' | 52              | 51              | 49°05' | 24°25' |                 | 61              | 48°52' | 24°06' | 57              | 55              |
| 49°37' | 23°12' | 57              | 55              | 49°05' | 24°25' |                 | 62              | 48°52' | 24°05' |                 | 62              |
| 49°33' | 23°27' | 54              | 52              | 49°05' | 24°25' |                 | 63              | 48°52' | 24°06' | 61              | 55              |
| 49°33' | 23°27' | 56              | 58              | 48°46' | 24°32' | 45              | 46              | 48°53' | 24°13' |                 | 52              |
| 49°33' | 23°27' | 49              | 55              | 48°46' | 24°32' | 48              | 48              | 48°47' | 24°19' |                 | 82              |
| 49°33' | 23°34' | 58              | 55              | 48°30' | 25°12' |                 | 66              | 48°46' | 24°18' |                 | 62              |
| 49°40' | 23°43' |                 | 77              | 48°30' | 25°15' |                 | 76              | 48°43' | 24°29' |                 | 64              |
| 49°39' | 23°42' |                 | 77              | 48°30' | 24°57' |                 | 54              | 48°44' | 24°30' |                 | 42              |
| 49°37' | 23°40' |                 | 77              | 48°13' | 25°06' |                 | 56              | 48°37' | 24°31' | 62              | 58              |
| 49°30' | 23°30' | 56              | 51              | 48°20' | 25°12' |                 | 50              | 48°47' | 24°27' |                 | 45              |
| 49°34' | 23°35' |                 | 65              | 48°17' | 25°14' |                 | 60              | 48°41' | 24°22' |                 | 47              |
| 49°32' | 23°36' | 65              | 68              | 48°06' | 25°27' |                 | 53              | 48°38' | 24°27' | 55              | 59              |
| 49°28' | 23°41' | 58              | 61              | 48°02' | 25°35' | 51              | 56              | 48°33' | 24°31' |                 | 60              |
| 49°28' | 23°41' |                 | 62              | 48°05' | 25°15' | 48              | 47              | 48°30' | 24°27' | 53              | 51              |
| 49°28' | 23°41' |                 | 62              | 49°30' | 23°42' |                 | 76              | 48°25' | 24°28' | 47              | 53              |
| 49°15' | 23°47' | 62              | 72              | 49°26' | 23°02' | 57              | 57              | 48°25' | 24°28' | 47              | 53              |
| 49°34' | 23°50' |                 | 68              | 49°20' | 23°05' | 53              | 59              | 48°25' | 24°28' | 47              | 53              |
| 49°39' | 23°57' |                 | 63              | 49°24' | 23°06' | 56              | 54              | 48°22' | 24°44' | 62              | 54              |
| 49°22' | 23°39' | 69              | 72              | 49°16' | 23°24' | 63              | 58              | 49°28' | 23°06' | 60              | 59              |
| 49°21' | 23°41' | 68              | 76              | 49°20' | 23°26' |                 | 63              | 48°30' | 22°26' | 91              | 102             |
| 49°23' | 23°43' | 62              | 65              | 49°15' | 23°27' | 58              | 53              | 48°30' | 22°26' |                 | 101             |
| 49°23' | 23°45' | 62              | 63              | 49°15' | 23°27' | 61              | 54              | 48°07' | 23°07' |                 | 101             |

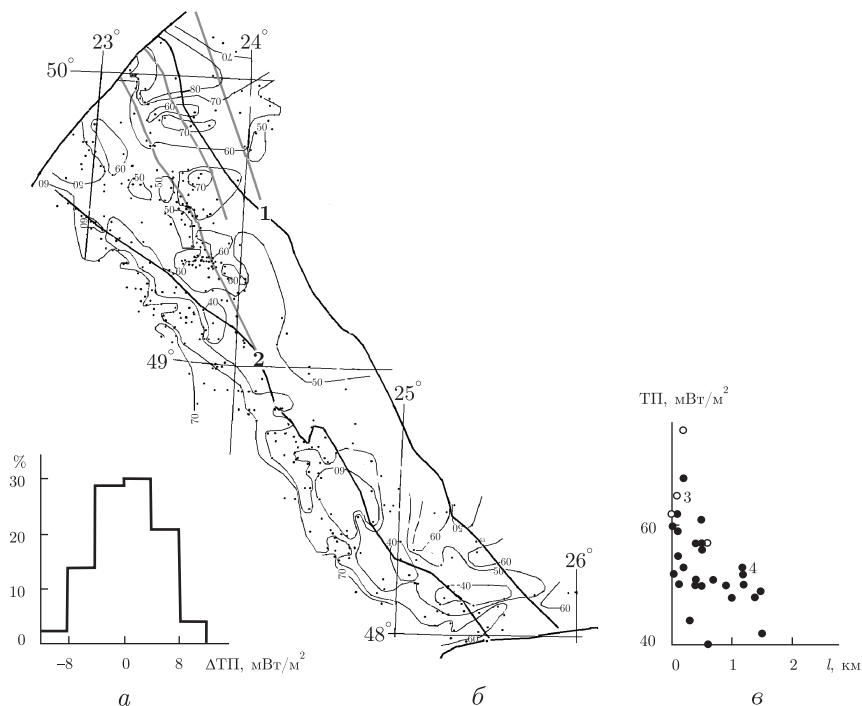


Рис. 2. Гистограмма различий между результатами определений ТП с использованием разных температурных данных (а); распределение ТП в Предкарпатском прогибе (б); распределение ТП на месторождениях Летнянское и Опарское (примерно 49 35 с. ш. и 23 45 в. д.) в зависимости от расстояния до максимумов концентрации газа (в).

1 — Внешняя граница Предкарпатского прогиба; 2 — внешняя граница надвига Складчатых Карпат на молассы Внешней зоны Предкарпатского прогиба; результаты расчета ТП по температурам, измеренным: 3 — при испытаниях скважин; 4 — при термокаротаже. Разломы: с северо-востока на юго-запад — Рава-Русский, Городокский, Краковецкий [5]

погрешности  $ТП_1$  [1]. Таким образом, новые определения теплового потока оказываются вполне приемлемыми для использования наряду со старыми, что позволяет провести изолинии на карте ТП региона через  $10 \text{ мВт/м}^2$  (см. рис. 2, б).

Некоторое смещение максимума распределения  $\Delta ТП$  в сторону положительных значений (рис. 2, а) может быть связано с приуроченностью повышенных ТП на месторождениях углеводородов к нарушениям, подводящим флюиды к залежам. Такие локальные аномалии установлены в Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ) и на Западно-Сибирской плите [3, 4]. Поскольку именно последние охарактеризованы температурами при испытаниях пластов, можно ожидать некоторого превышения  $ТП_2$  над установленными в других интервалах глубин. Отметим, что такая аномалия возможна только при очень незначительном возрасте последнего поступления флюидов в пласт.

Если высказанное предположение верно, должны существовать и территориально незначительные аномалии ТП, сопровождающие флюидоподводящие нарушения, отраженные в величинах  $ТП_1$  и  $ТП_2$ , сходные с зафиксированными в ДДВ [3]. На большинстве месторождений мало данных для достоверного выявления зависимости величины ТП от расстояния до канала подъема глубинных флюидов. Их удалось собрать на месторождениях Летнянское и Опарское. Месторождения территориально совпадают, второе расположено выше первого по разрезу. У авторов нет сведений о расположении подводящего

канала. Предполагалось, что на небольшой глубине под залежью их два и над каждым формируется максимум содержания газа на единице площади. Экстремумы газоносности вытянуты вдоль простираения структуры.

На рис. 2, в видно, что зависимость устанавливается. При фоновом (среднем на большей части месторождений) значении ТП около  $48\text{--}50 \text{ мВт/м}^2$  над районами с максимальной концентрацией газа ТП достигает  $65\text{--}75 \text{ мВт/м}^2$ .

После осреднения величин ТП в пунктах, где было несколько скважин с одними координатами (различающимися менее, чем на одну минуту широты или долготы), получим 45 пунктов, где старые результаты дополнены новыми, и 44 пункта с новыми определениями. Вынесение их на карту (вместе с имевшимися ранее значениями ТП) позволило заметно изменить картину распределения теплового потока в Предкарпатском прогибе по сравнению с имевшейся ранее [1]. К 214 пунктам определений ТП в Предкарпатском прогибе (полученным при осреднении 450 единичных значений) добавлены 42 новых, в 40 пунктах средние значения теплового потока несколько изменены.

В собственно прогибе (северо-восточнее надвига Складчатых Карпат) на довольно изменчивый фон (изменяющийся в основном в пределах от  $38\text{--}45$  до  $48\text{--}53 \text{ мВт/м}^2$ ) наложены две системы положительных аномалий. Северная достигает значительной интенсивности (до  $85\text{--}95 \text{ мВт/м}^2$ ) и занимает значительную площадь (см. рис. 2, б). Южная существенно меньше (в максимуме до  $70\text{--}75 \text{ мВт/м}^2$ ) и занимает гораздо меньшую площадь. Кажется логичным связать северную аномалию с влиянием выноса тепла по пересекающим ее разломам (см. рис. 2, б). Ранее здесь выделялась Яворовская аномалия теплового потока. Сейчас очевидно, что это сложное образование, состоящее из множества относительных максимумов и минимумов. В целом тепловой поток вдоль протирания зоны сокращается на юго-восток.

Рава-Русский разлом продолжается и в район южной аномалии, но приуроченность к нему возмущения ТП не очевидна.

В районе надвига Складчатых Карпат тепловой поток начинает расти, увеличиваясь до типичных значений в пределах этого региона —  $60\text{--}70 \text{ мВт/м}^2$ .

Таким образом, проведенный анализ температур, установленных при испытаниях продуктивных пластов на месторождениях углеводородов Карпатского региона, позволил выявить их пригодность для расчета геотермического градиента и, соответственно, теплового потока. Дополнена изученность теплового поля Предкарпатского прогиба. Полученные данные позволяют предположить связь аномалий ТП с выносом тепла флюидами по проницаемым зонам разломов.

1. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Усенко О. В. Тепловое поле территории Украины. — Киев: Знание Украины, 2002. — 170 с.
2. Атлас родовищ нафти і газу України. Т. IV–V / За ред. М. М. Іванюти та ін. — Львів, 1998.
3. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Ковачикова С., Логвинов И. М., Пек Й., Тарасов В. Н., Усенко О. В. Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы). — Киев: Корвин пресс, 2006. — 142 с.
4. Курчиков А. Р. Гидрогеотермические критерии нефтегазоносности. — Москва: Недра, 1992. — 232 с.
5. Карта разрывных нарушений и основных зон линейamentов юго-запада СССР. М-б 1 : 1 000 000. Ред. Н. А. Крылов. — Москва: Мингео СССР, 1988.

**V. V. Gordienko, I. V. Gordienko**

**New determinations of Earth's deep heat flow in the Carpathian region**

*The new values of deep heat flow (HF) are studied at 44 points, and the independent re-determinations of HF are executed at 45 points of the Carpathian region in the oil and gas fields. Anomalies presumably associated with the rise of deep fluids are found.*