



УДК 550.36

© 2011

**О. В. Арясова, В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко,  
О. В. Завгородняя**

## **Тепловое поле на северо-востоке Украины**

*(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)*

*У 24 свердловинах встановлено величини глибинного теплового потоку. Визначено позитивні аномалії на схилі Воронезького масиву, які, можливо, пов'язані з сучасною активізацією цього регіону.*

Информация о распределении величины глубинного теплового потока (ТП) Земли в различных регионах в последние годы находит все большее применение не только при изучении геодинамики, но и решении прикладных проблем поисков полезных ископаемых, в том числе и непосредственно при оценке геоэнергетических ресурсов [1 и др.]. Территория Украины имеет уникальную по плотности сеть определений ТП, которая в большинстве регионов позволяет получить достоверную интерпретацию — построение геологически значимых тепловых моделей земной коры и верхней мантии. Однако тепловые потоки практически не изучены или недостаточно изучены в пределах так называемых белых пятен, одним из которых является склон Воронежского массива на северо-востоке Украины. Здесь не проводилось бурение глубоких скважин с целью поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, поэтому измерения температуры недр сосредоточены в узком интервале глубин. Как правило, эти данные получены в гидронаблюдательных скважинах глубиной в первые десятки метров [2]. С обострением проблемы водоснабжения населенных пунктов глубина добывающих и наблюдательных скважин увеличивается, некоторые из них пригодны для кондиционных измерений температуры. В четырех скважинах на глубинах 125–300 м удалось провести измерения, определить геотермические градиенты ( $\gamma$ ) и рассчитать ТП.

В результате выполненной работы нами была проведена переобработка данных прежних лет, полученных в мелких скважинах, поскольку за прошедшее время разработаны методики учета влияния палеоклимата, перетоков вод в водоносных горизонтах и между ними, откачек. При построении карт глубинного теплового потока территории Украины [1] соответствующие поправки в рассматриваемых наблюдательных пунктах вносились без учета конкретных особенностей теплопередачи в каждой из скважин. Оценки показывают, что именно в исследуемом районе и диапазоне глубин влияние “зоны пониженных градиен-

тов” [2] на результат может быть учтено обобщенной поправкой неполно. Поэтому есть смысл рассмотреть прежние значения ТП, тем более, что полученные в процессе переобработки сведения о температурах поверхности [2] могут быть применены для подтверждения достоверности новых значений ТП (см. ниже).

**Определения ТП Земли.** Температуру в скважинах измеряли термисторным термометром с погрешностью около  $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1] в гидронаблюдательных скважинах гидрогеологической партии Севукргеология: Рейментаровка (120 м), Сосница (300 м), Карховка (180 м), Центральный (160 м). Во всех скважинах в разное время (годы или десятки лет назад) проведены откачки, вблизи от скв. Сосница откачка проводилась постоянно (скважина расположена на водозаборе). Однако сравнение геотермических градиентов в разных интервалах глубин показывает, что влияние этих процессов на температуру незаметно (см. ниже). Таким образом, откачки из обсаженных скважин не ведут к тепловым последствиям [3], а ограничиваются влияниями, рассмотренными в работе [1]. В наблюдаемые температуры внесены поправки, учитывающие влияние палеоклимата, в указанных глубинах они увеличиваются равномерно, составляя  $0,58\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ .

В трех скважинах (Рейментаровка, Сосница и Центральный) геотермические градиенты резко изменяются на границе мергелей мела и песков палеогена, в последнем случае — на границе песков палеогена и алевролитов. В скв. Карховка в интервале наблюдений температур представлена только толща песков. Температуры выше нее искажены, возможно, инфильтрацией поверхностных вод по внешнему контуру обсадной колонны. Результаты измерений по этой скважине наименее надежные из полученных.

Теплопроводность ( $\lambda$ ) пород (точнее — ее кондуктивная часть) региона, согласно данным статьи [2], изменяется от  $1,4$  ( $0\text{--}15\text{ м}$ ) до  $1,6\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$  ( $13\text{--}30\text{ м}$ ), далее на глубинах примерно до  $90\text{ м}$  для чередования песков, глин, алевролитов она составляет около  $1,7\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$  и для мергелей (и писчего мела) —  $1,9\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Это распределение дополнено конвективной составляющей в достаточно мощных слоях песков, коэффициент фильтрации в которых достигает  $40\text{ м}/\text{сут}$  на фоне  $5\text{--}10\text{ м}/\text{сут}$  в горизонтах более плотных песков и  $0,01\text{--}0,10\text{ м}/\text{сут}$  в глинистых водоупорах. На гидронаблюдательной станции Кукшин определены практически замкнутые внутренние перетоки ( $W$ ) в наиболее проницаемых пластах песков со средней интенсивностью около  $0,7\text{ мм}/\text{сут}$ . Если представить влияние конвекции как увеличение геотермического градиента в соответствующем интервале глубин, то получим  $\lambda = \Delta H \cdot c\rho \cdot W$  (где  $c\rho$  — объемная теплоемкость воды). Расчет показывает, что в реальном диапазоне мощностей слоев конвекции ( $\Delta H$ ) формируется дополнительная теплопроводность около  $1,5\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Суммарная эффективная величина параметра составит  $3,2\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Достоверность полученной теплопроводности проверена путем сравнения расчетных ТП в интервале конвекции и за его пределами. Различия составляют  $1 \cdot n\text{ мВт}/\text{м}^2$  (см. ниже).

Приведенные значения  $\lambda$  были использованы для расчета теплового потока в четырех скважинах, во всех случаях для верхней части разреза использованы  $\lambda = 3,2$  и  $\lambda = 1,7\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ , в трех случаях пересечения мергелей (с отсутствующей конвекцией)  $\lambda = 1,9\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Получены весьма различные величины ТП,  $\text{мВт}/\text{м}^2$ :  $35, 45, 54$  и  $53$ . Практическое совпадение значений глубинного ТП в интервалах с разной теплопроводностью указывает на хорошую согласованность относительного изменения геотермического градиента и теплопроводности, но не гарантирует правильности абсолютной величины ТП (значения  $\lambda$ , полученные в верхней части разреза, не обязательно остаются на том же уровне на больших глубинах).

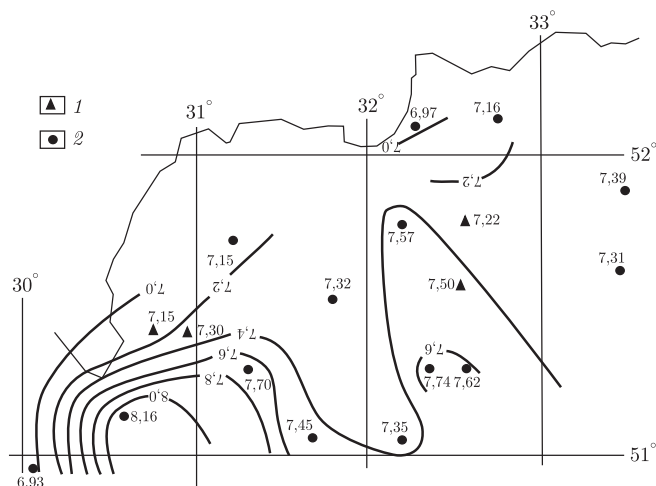


Рис. 1. Распределение температуры поверхности в исследуемом регионе. Пункты определений ТП: 1 — по нашим данным; 2 — по данным, представленным в [2]

Для контроля были использованы расчетные величины температуры поверхности  $T_0$ . Этот параметр определяется по термограммам неглубоких скважин с рассчитанным ТП экстраполяцией температуры к поверхности с учетом изменяющейся теплопроводности и имеет в исследуемом регионе резко пониженную величину по сравнению с вычисляемым параметром на метеостанциях как среднемноголетняя температура на глубине 0,2 м. Отметим, что скважины пробурены на осушенных болотах с неглубоким залеганием зеркала грунтовых вод, а метеостанции расположены в населенных пунктах на относительных возвышенностях с более глубоким расположением зеркала. Разница в испарении с его поверхности приводит к разнице в  $T_0$  около  $1^\circ\text{C}$  [2]. На болотной метеостанции Кукшин среднемноголетняя температура и расчетная  $T_0$ , по данным пробуренной рядом скважины, практически совпадают.

При внесении палеоклиматических поправок в значения  $T$ , установленной ранее [2], и определении для мелких скважин региона исправленные (глубинные) значения ТП получим значения  $T_0$ . Если они будут согласовываться с вычисленными для новых сравнительно глубоких скважин, можно считать, что использованные данные теплопроводности верны (рис. 1).

Проведение изолиний на рис. 1 нельзя считать полностью обоснованным, для этого сеть наблюдений недостаточно плотная и неравномерная. Данные на рисунке наглядно показывают ситуацию. Очевидно, что значения  $T_0$ , установленные в скважинах разной глубины, непротиворечивы. Можно считать, что результаты определения ТП в обоих случаях достоверны. Исправленные значения ТП (и  $T_0$ ), согласно данным, приведенным в литературе [2], и новым определениям, показаны в табл. 1.

Величина  $T_0$  в скв. Кукшин не использована на рис. 1, так как условия на поверхности являются аномальными (болото не осушено, зеркало грунтовых вод практически на поверхности). В скв. Киенка и Версоня определение поверхностной температуры невозможно: здесь геотермический градиент установлен по значению температуры на максимальной глубине и температуры поверхности по ближайшим скважинам. В пунктах, где тепловой поток определялся по данным в нескольких территориально близких скважинах [2], построены сводные термограммы, по которым вычислен геотермический градиент.

В среднем значения ТП после более тщательного введения поправок изменились незначительно, но в конкретных пунктах получены отличия с максимальными отклонениями от  $-9$  до  $+15$  мВт/м<sup>2</sup>. Отклонения от среднего значения ТП по скважине (или группе скважин) при использовании исправленных температур составляют 4%, что существенно лучше согласованного, достигнутого ранее [2] (11%).

**Распределение ТП на склоне Воронежского массива.** Глубинный тепловой поток в регионе (с учетом данных по глубоким скважинам в Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ) и результатов определения ТП методом редукции температурных волн в двух пунктах на востоке региона [1, 2, 4]) по полученным данным иллюстрирует рис. 2.

Приведенная выше оценка погрешности глубинного теплового потока позволяет уверенно провести изолинии ТП с шагом 10 мВт/м<sup>2</sup>. Понижает их достоверность очень низкая плотность сети и ее неравномерность. Но и по имеющимся данным видно, что на склоне Воронежского массива представлены в основном заметно повышенные (по сравнению с обычными для неактивизированной платформы —  $(44 \pm 2)$  мВт/м<sup>2</sup> [1 и др.]) значения глубинного теплового потока. В пределах двух предварительно оконтуренных на склоне аномалий ТП составляет в среднем около 54 мВт/м<sup>2</sup>. Имевшиеся прежде данные не позволяли сделать такого определенного заключения. Отличия повышенных ТП от фоновых достаточно велики, чтобы уверенно говорить о выделении аномалий. Природа этих возмущений теплового поля будет предметом специального исследования, к которому необходимо привлечь и данные других методов глубинной геофизики.

Таким образом, проведенная переобработка имевшихся данных по ТП в ДДВ не привела к заметному пересмотру известного ранее распределения параметра.

Таблица 1

| Скважина      | $H$ , м | С. ш.   | В. д.   | ТП, мВт/м <sup>2</sup> | $T_0$ , °C |
|---------------|---------|---------|---------|------------------------|------------|
| Ревна         | 30      | 52° 10' | 32° 42' | 39                     | 7,16       |
| Марс          | 50      | 52° 08' | 32° 15' | 50                     | 6,97       |
| Ивот          | 30      | 51° 54' | 33° 30' | 54                     | 7,39       |
| Рейментаровка | 120     | 51° 47' | 32° 33' | 54                     | 7,22       |
| Сосновка      | 30      | 51° 46' | 32° 08' | 59                     | 7,57       |
| Замглай       | 20      | 51° 43' | 31° 12' | 50                     | 7,15       |
| Быстрик       | 30      | 51° 39' | 32° 28' | 40                     | 7,31       |
| Домна         | 30      | 51° 32' | 31° 47' | 40                     | 7,32       |
| Центральный   | 160     | 51° 29' | 30° 41' | 45                     | 7,15       |
| Сосница       | 300     | 51° 28' | 32° 32' | 53                     | 7,50       |
| Карховка      | 180     | 51° 28' | 30° 56' | 35                     | 7,30       |
| Киенка        | 30      | 51° 25' | 31° 13' | 40                     | —          |
| Дочь          | 80      | 51° 19' | 32° 33' | 52                     | 7,62       |
| Высокое       | 30      | 51° 19' | 32° 20' | 48                     | 7,74       |
| Воздвиж       | 60      | 51° 19' | 31° 16' | 54                     | 7,70       |
| Выдра         | 30      | 51° 07' | 30° 35' | 40                     | 8,16       |
| Бобрик        | 80      | 51° 06' | 31° 45' | 42                     | 7,55       |
| Кукшин        | 90      | 51° 06' | 31° 40' | 40                     | 7,20       |
| Версоня       | 40      | 51° 05' | 29° 44' | 60                     | —          |
| Печи          | 70      | 51° 03' | 32° 11' | 52                     | 7,35       |
| Ваховка       | 30      | 50° 53' | 30° 05' | 72                     | 6,93       |
| Труберж       | 40      | 50° 22' | 31° 10' | 55                     | 7,68       |
| Панфилы       | 60      | 50° 14' | 31° 47' | 55                     | 8,41       |
| Сошников      | 30      | 50° 05' | 31° 10' | 57                     | 7,97       |

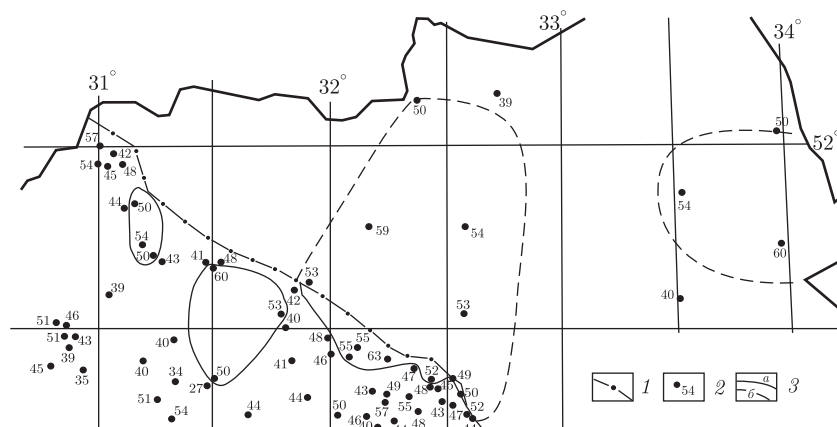


Рис. 2. Распределение глубинного теплового потока на территории склона Воронежского массива и прилегающей части ДДВ: 1 — краевой разлом ДДВ; 2 — пункты определения ТП и значения, выраженные в мВт/м<sup>2</sup>; 3 — изолинии ТП (а — достоверные, б — предполагаемые)

Полученные результаты изучения теплового поля склона массива указывают прежде всего на перспективность продолжения исследований, поскольку распределение ТП представлено здесь весьма фрагментарно, а повышенные величины ТП указывают на возможность наличия значительной территории, пригодной для рентабельного использования геотермических ресурсов.

Повышенный ТП может указывать на современную активизацию склона массива. Сам по себе этот признак еще недостаточен для диагностики этого типа глубинного процесса [4 и др.], но здесь зафиксированы поднятия поверхности за последние 3 млн лет [5], отмечены объекты низкого удельного сопротивления в коре [4], продолжающие на север Кировоградскую аномалию электропроводности. Поэтому следует продолжить комплексное геофизическое изучение региона, тем более, что к зоне современной активизации ДДВ приурочены все месторождения углеводородов [4].

*Работа частично выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Украины (Государственный фонд фундаментальных исследований), грант № Ф28.6/020.*

1. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В. и др. Тепловое поле территории Украины. — Киев: Знание Украины, 2002. — 170 с.
2. Гордиенко В. В., Завгородняя О. В. Тепловое поле северо-восточной части территории УССР // Геофиз. журн. — 1983. — **3**. — С. 27–32.
3. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В. и др. Новые результаты геотермических и геоэлектрических исследований Днепровской зоны современной активизации // Там же. — 2007. — **1**. — С. 115–121.
4. Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В. и др. Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы). — Киев: Корвин пресс, 2006. — 142 с.
5. Верховцев В. Новітні вертикальні рухи земної кори території України, їх взаємовідношення з лінійними та кільцевими структурами // Енергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання: Зб. наук. праць. — Київ: Вид.-поліграф. центр “Київський університет”, 2006. — С. 129–137.

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

Поступило в редакцию 22.12.2009

O. V. Arjasova, V. V. Gordienko, I. V. Gordienko, O. V. Zavgorodnyaya

### Heat field on the north-east of Ukraine

*Values of the deep heat flow in 24 boreholes are studied. The positive anomalies on the Voronezh massif slope are detected. The anomalies are possibly related to the recent activization of this region.*