



УДК 550.36

© 2012

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

Новые определения теплового потока на склоне Воронежского кристаллического массива

(Представлено академиком НАН Украины В. И. Старостенко)

В 48 скважинах установлены величины глубинного теплового потока. Эти данные дали возможность предварительно наметить несколько положительных аномалий теплового потока, возникновение которых с разной степенью вероятности может быть увязано с процессами современной активизации. По существующим данным можно предполагать распространение зон современной активизации на северо-восток, на территорию России. Построенная по результатам исследований схема распределения глубинных температур обнаруживает значительный прогрев верхней тектоносферы части территории склона Воронежского кристаллического массива.

Юго-западный склон Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в пределах Украины рассматривается ниже вместе с северо-восточным бортом Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) и прогиба складчатого Донбасса (Дбс), т. е. тепловой поток (ТП) определялся на всей территории северо-восточнее краевых разломов ДДВ и Дбс. К анализу результатов привлечены и некоторые данные о распределении ТП на прилегающей части России [1].

Регион представляет собой значительную по площади (60 000 км², 10% Украины) и наименее изученную в тепловом отношении часть страны. Здесь проводились лишь спорадические исследования [1, 2 и др.]. В последнее время была предпринята попытка дополнить имеющиеся данные в северо-западной части региона с одновременным пересмотром некоторых старых результатов с учетом появившихся представлений о коррекции ТП [3]. Продолжение таких исследований рассматривается в настоящем сообщении.

Экспериментальные данные. Величины теплового потока Земли устанавливались по геотермическому градиенту, определявшемуся по температуре, измеренной в скважинах двух различных по глубине групп разными методами.

В первой группе температура в сравнительно неглубоких скважинах (20–360 м) устанавливалась точным термисторным термометром. Вторая группа представлена определениями температуры в глубоких скважинах (530–4460 м) каротажными термометрами при испытаниях продуктивных горизонтов. Сравнение результатов расчета ТП в повторно изученных скважинах приводит к выводу о погрешности около 3 мВт/м².

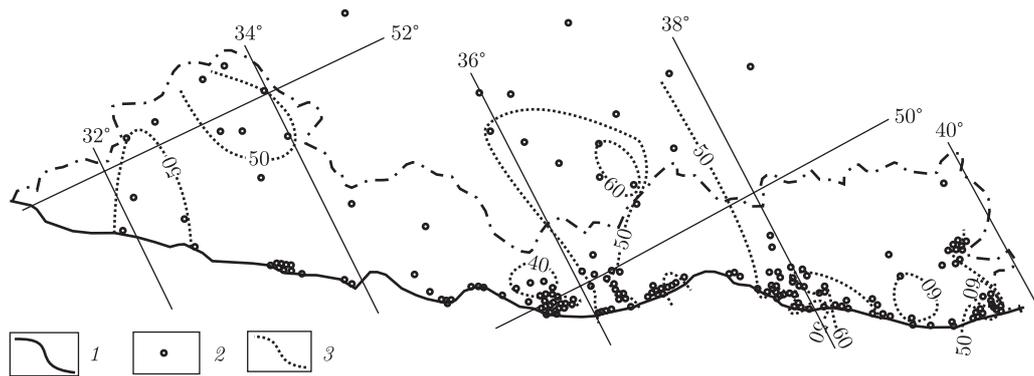


Рис. 1. Схема распределения ТП на территории склона ВКМ:
 1 — северо-восточный краевой разлом ДДВ и Дбс; 2 — пункты определения и значения ТП; 3 — изолинии ТП, мВт/м²

Для расчета геотермического градиента (λ) использовались температуры поверхности, полученные на метеостанциях как среднемноголетние и установленные по результатам экстраполяции к поверхности термограмм в неглубоких скважинах, проведенной с учетом изменяющейся теплопроводности.

При вычислениях величины ТП применялись значения теплопроводности (γ), установленные ранее для пород мезозоя-палеозоя ДДВ [2 и др.], изменяющиеся в узком диапазоне величин — от 1,7 до 1,85 Вт/(м·°С).

Всего новые значения глубинного ТП установлены в 48 скважинах, распределенных по всему региону, но преимущественно тяготеющих к довольно узкой полосе вблизи краевого разлома ДДВ. В районе России, примыкающем к северо-западному участку склона ВКМ Украины, пункты определений ТП очень редки, известные значения параметра явно неаномальны, поэтому ниже не использованы. В районе, прилегающем к центральной украинской части региона, встречаются повышенные ТП. Новые значения ТП сведены в табл. 1, где некоторые из них сопоставлены со старыми определениями с использованием забойных температур.

Распределение теплового потока в регионе. Изолинии ТП можно провести через 10 мВт/м². В настоящее время имеет смысл построение прежде всего обзорной схемы распределения теплового потока, в рамках которой многие значения в соседних скважинах не могут быть представлены как отдельные пункты. Такие данные подвергались осреднению. В результате на схему (рис. 1) вынесены значения ТП в 163 пунктах Украины и в 13 пунктах России. Изолинии призваны как-то структурировать имеющиеся данные, способствовать предварительному выделению возмущений теплового поля. Массив величин глубинного ТП региона явно разделен на два множества — одно отвечает территории, примыкающей к ДДВ, второе — к Дбс. Во втором ТП выше, в обоих случаях легко выделить фоновую и аномальную части с модальными значениями 43 и 50 мВт/м², 53 и 60 мВт/м². Аномалии в 10 мВт/м² — часто встречается в зонах современной активизации Украины и других регионов [2 и др.]. В первом случае фоновое значение заметно не отличается от обычного для докембрийской платформы, во втором — близко к фоновому в Донбассе. Но в Дбс фон обусловлен не только радиогенной теплогенерацией в коре и нормальным ТП из мантии, но и (хотя и в небольшой степени) влиянием остывающих недр герцинской геосинклинали. На склон ВКМ последняя не распространяется.

Таблица 1. Новые определения глубинного теплового потока на склоне ВКМ

Скважина	С. ш.	В. д.	H , м	λ , $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$	γ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$	ТП, $\text{мВт}/\text{м}^2$	ТП _{стар.} , $\text{мВт}/\text{м}^2$
Знобь 200–201	52° 18'	33° 42'	20	2,95	1,50	44	—
Знобь 4	52° 17'	33° 35'	60	1,70	3,20	54	—
Ображеевка 61	51° 55'	33° 22'	85	4,00	1,70	68	—
Белополье 2085	51° 09'	34° 16'	360	2,35	1,90	44	—
Турутинская 2	50° 52'	33° 15'	2440	2,70	1,80	49	45
Владимирская 3	50° 48'	33° 21'	2500	3,00	1,80	54	—
Ниж. Сыроватка 2020	50° 48'	34° 52'	100	2,45	1,90	47	—
Волчанск 4146	50° 18'	36° 55'	20	3,10	1,45	48	—
Хухрянская 6	50° 12'	34° 42'	3220	2,75	1,80	50	45
Богодухов 4118	50° 09'	35° 33'	160	1,40–2,10	1,90–3,20	42 ± 2	—
Харьков 4188	50° 08'	36° 16'	90	1,70	3,20	54	—
Харьков 4164	50° 04'	36° 05'	40	1,60	3,05	49	—
Бол. Даниловка 4382	50° 01'	36° 11'	200	1,55–2,65	1,90–3,20	51 ± 1	—
Скворцовская 1	50° 00'	35° 27'	3140	2,70	1,80	49	45
Харьков 4301	49° 59'	36° 21'	180	2,65	1,90	51	—
Юльевская 8	49° 58'	35° 40'	3520	2,35	1,80	42 ± 0	—
Юльевская 5	49° 58'	35° 42'	3100	2,35	1,80	42 ± 0	46
Юльевская 9	49° 56'	35° 39'	3480	2,35	1,80	42 ± 0	42
Юльевская 7	49° 55'	35° 37'	3160	2,35	1,80	42 ± 0	—
Харьков 4258	49° 54'	36° 18'	75	2,90	1,70	49	—
Нарижнянская 3	49° 54'	35° 33'	3370	2,30	1,80	42 ± 1	43
Нарижнянская 6	49° 55'	35° 35'	3570	2,30	1,80	42	37
Огульцевская 1	49° 54'	35° 44'	3840	2,50	1,80	45	—
Огульцевская 3	49° 55'	35° 43'	3890	2,50	1,80	45	—
Огульцевская 4	49° 55'	35° 42'	3900	2,50	1,80	46	—
Безлюдовская 6	49° 48'	36° 24'	2910	3,10	1,80	56 ± 0	50
Коробочкинская 2	49° 48'	36° 20'	3000	3,00	1,80	54	54
Коробочкинская 3	49° 46'	36° 19'	3070	3,05	1,80	55	46
Лебяжская 1	49° 47'	36° 25'	3090	2,90	1,80	52	55
Лебяжская 3	49° 47'	36° 26'	3100	3,20	1,80	58	51
Островерховская 1	49° 45'	36° 07'	3720	2,75	1,80	50 ± 0	—
Островерховская 3	49° 44'	36° 08'	3770	2,75	1,80	50 ± 1	41
Ртищевская 1	49° 43'	36° 40'	2920	3,00	1,80	53 ± 1	—
Ртищевская 4	49° 42'	36° 41'	2980	2,95	1,80	54 ± 0	—
Платовская 614	49° 42'	36° 24'	4460	2,80	1,805	52	55
Дружелюбовская 1	49° 23'	37° 43'	1750	3,20	1,80	56 ± 1	41
Дружелюбовская 3	49° 24'	37° 45'	1750	3,10	1,80	55 ± 1	51
Дружелюбовская 8	49° 23'	37° 46'	1770	3,30	1,80	57 ± 2	—
Зайцевская 1	49° 18'	37° 47'	1410	3,25	1,7	55	—
Макеевская 4	49° 11'	38° 04'	1700	2,05	1,80	37	—
Евгеньевская 2	49° 07'	38° 09'	2640	4,10	1,80	65 ± 5	—
Путилинская 1	48° 50'	38° 47'	2230	3,70	1,80	66	—
Кондрашевская 1	48° 43'	39° 25'	1180	3,30	1,70	55 ± 2	—
Кондрашевская 5	48° 42'	39° 25'	1330	3,3	1,70	57 ± 1	—
Кондрашевская 3	48° 41'	39° 26'	1270	3,15	1,70	59 ± 3	—
Кондрашевская 2	48° 40'	39° 27'	1220	3,30	1,70	58 ± 1	—
Ольховская 3	48° 43'	39° 37'	590	3,20	1,70	53 ± 1	—
Ольховская 1	48° 40'	39° 35'	530	3,40	1,70	54 ± 3	—

Примечание. Прочерк — данные отсутствуют.

По имеющимся данным на склоне можно наметить предварительно 6–7 положительных аномалий, но их достоверное определение и оконтуривание есть смысл провести после сравнения экспериментальных данных с расчетным фоном. Достоверные отрицательные аномалии в регионе не устанавливаются: внутри изолиний ТП 40 мВт/м^2 средние значения составляют $37\text{--}38 \text{ мВт/м}^2$, т. е. отличаются от фона менее, чем на удвоенную погрешность определения ТП.

Расчетный фоновый ТП и аномалии. В основе методики расчета фонового ТП лежит представление о связи скорости сейсмических волн в коровых породах и радиогенной теплогенерации. Тепловой поток из платформенной мантии считался во всех случаях одинаковым — 20 мВт/м^2 [2 и др.]. Скоростные разрезы земной коры, использованные для вычислений, получены из публикаций [4–9 и др.]. При расчете (применялись трехмерные модели, но основное значение имели изменения теплогенерации вдоль профилей) учитывалась и структура теплогенерации коры прилегающих к склону частей ДДВ и Дбс, что, как правило, сокращало расчетный ТП.

Экспериментально установленное распределение фонового ТП в целом подтверждается. В части склона, примыкающей к ДДВ, расчетные величины на значительной территории составляют около 46 мВт/м^2 , но большая часть экспериментальных данных сосредоточена вблизи краевого разлома, где расчетный ТП заметно ниже — около $40\text{--}42 \text{ мВт/м}^2$. На примыкающей к Донбассу части склона ВКМ расчетные величины фона составляют в среднем 48 мВт/м^2 , причём вблизи краевого разлома Дбс понижение расчетной величины незначительно.

Можно утверждать, что достоверно диагностированы несколько положительных аномалий, хотя сведений для их подробного оконтуривания и даже уверенного определения простираения возмущений недостаточно.

Аномалия в районе меридиана 32° в. д. представлена на склоне всего двумя пунктами, но внутри ДДВ она имеет продолжение. Не исключено, что активизация здесь началась несколько раньше, чем юго-восточнее, что наряду с некоторыми другими особенностями строения коры привело к слабому проявлению признаков этого глубинного процесса.

Для аномалии в районе 34° в. д. очевидна ее приуроченность к Кировоградской зоне современной активизации, изученной на территории Украинского щита и ДДВ комплексом геолого-геофизических методов, на склоне ВКМ — по данным геоэлектрики и сведениям о поднятиях поверхности за последние 3 млн лет [10, 11]. Аномалия в районе $36\text{--}37^\circ$ в. д. также располагается в области заметных поднятий поверхности за указанный выше период, в ее южной части известна отрицательная мантийная гравитационная аномалия и группа активизированных проницаемых разломов, по которым мигрируют глубинные нагретые флюиды с углеводородами, формирующими газовые месторождения. Здесь же располагаются несколько эпицентров землетрясений [12 и др.]. Поэтому можно допустить (до проведения дополнительных исследований), что и это возмущение ТП связано с зоной современной активизации. Не исключено, что зона активизации на востоке выходит за пределы известной к настоящему времени аномалии ТП.

Аномалия в районе меридианов $38\text{--}40^\circ$ в. д. известна только в виде южного фрагмента. Часть его представляет собой северное продолжение повышенных ТП, известных в Донбассе [2]. Севернее аномалии на склоне ВКМ тепловой поток практически не изучен. И эту аномалию можно отнести к проявлениям современной активизации, так как именно здесь поднятия за последние 3 млн лет особенно велики, в прилегающих районах и непосредственно в пределах аномалии ТП располагаются эпицентры землетрясений (рис. 2).

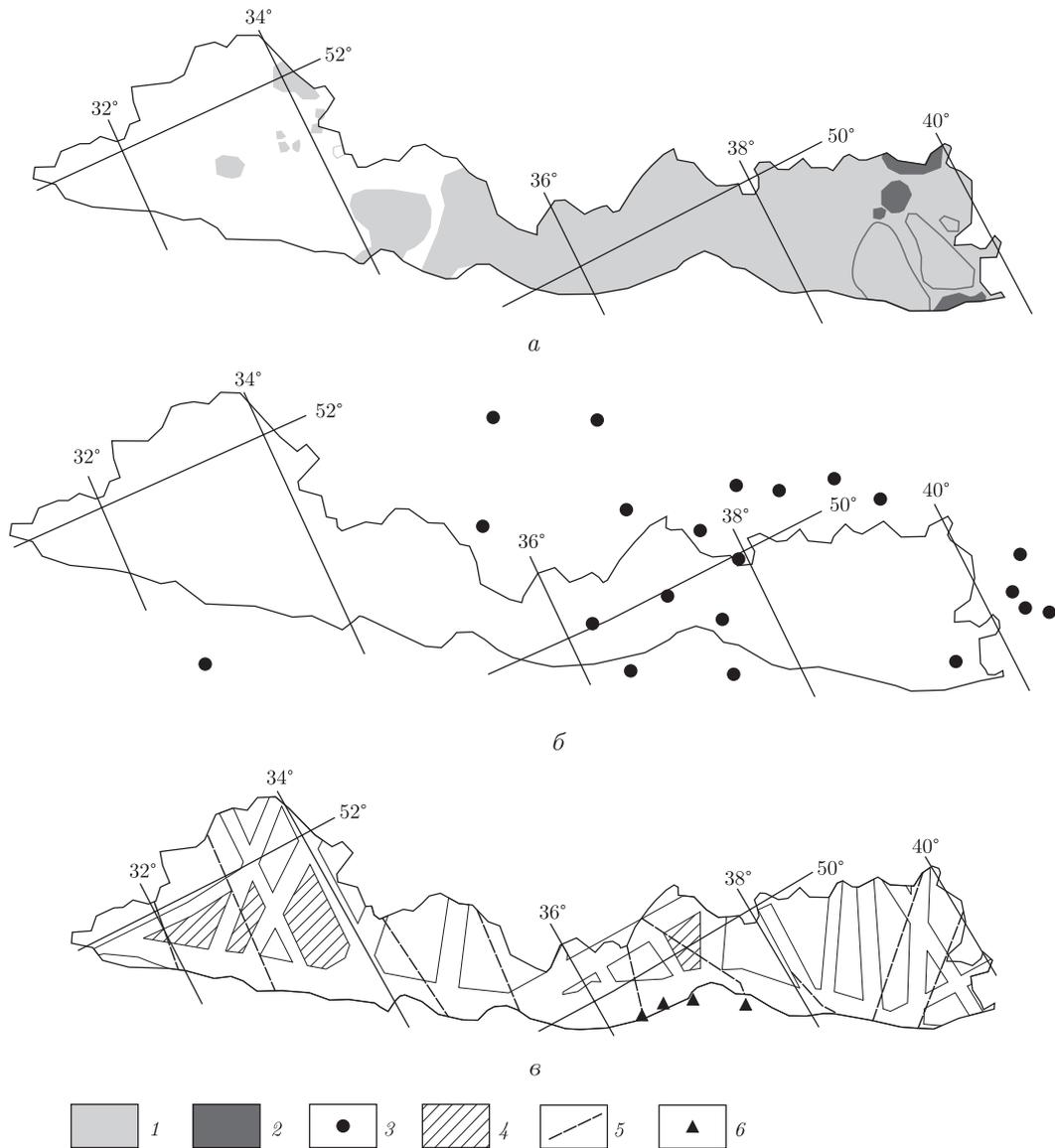


Рис. 2. Поднятия поверхности за последние 3 млн лет (а), сейсмичность (б) склона Воронежского кристаллического массива.

Амплитуда поднятий: 1 — более 50 м, 2 — более 100 м, 3 — эпицентры землетрясений [12 и др.] и зоны разломов на склоне ВКМ, активизированных в последние 3 млн лет [11] (в): 4 — зоны активизированных разломов, 5 — межблоковые разломы [13], 6 — пункты АВПД [14]

Весьма вероятной представляется корреляция аномалий с проницаемыми глубинными разломами [11 и др.], однако многие такие нарушения (в том числе и активизированные в последние 3 млн лет, см. рис. 2) не сопровождаются аномалиями ТП. Более того, часть зон разломов совпадает с понижениями теплового потока.

В несколько большей степени коррелируют с аномалиями древние межблоковые разломы. Но и в этом случае разлом в районе 35° в. д. отвечает понижению ТП. В случае Кировоградской зоны современной активизации (район 34° в. д.) пара разломов скорее ограничивает всю область проявлений активности в целом, а не собственно тепловую аномалию.

Довольно определенным доказательством принадлежности территории к зоне современной активизации является обнаружение в ее пределах зон аномально высокого пластового давления (АВПД). Это явление отмечено на двух месторождениях газа склона (см. рис. 2), но они расположены у краевого разлома ДДВ, поэтому нельзя утверждать, что аномальные давления связаны с активизацией склона, а не впадины. В пределах последней АВПД широко распространены.

Температура в коре и верхних горизонтах мантии. При расчете глубинных температур в тектоносфере региона считалось, что они представлены двумя распределениями: 1) стационарной, отвечающей ТП около 44 и 48 мВт/м². Для максимальной глубины (около 80 км) использовались значения температуры, полученные при анализе докембрийской тепловой истории платформы [15 и др.]. Различия температур между вариантами первого распределения не превосходят 50–60 °С на максимальных глубинах расчета; 2) нестационарный тепловой эффект перемещения вещества коры и верхней мантии при современной активизации, начавшейся 3–5 млн лет назад [2, 10 и др.].

Расчет показывает, что возникающему аномальному распределению температуры должны соответствовать две зоны частичного плавления. Довольно мощная зона отмечается в подкоровой части мантии (в интервале глубин от 60 до 90–100 км), маломощная в средней коре на глубинах несколько больше 20 км. Последняя может и отсутствовать, если вынос магмы в кору произошел заметно раньше принятых при расчете возрастов процесса. Эта зона может сама служить источником материала для внутрикоровой адвекции, приводящей к образованию отдельных вторжений кислой и средней магмы на глубины до 5–10 км [15]. В период существования зон частичного плавления в коре выше них располагается область флюидизации — пропитки среды глубинными растворами. При их концентрации в зонах повышенной проницаемости возникают тепловые аномалии на глубинах, доступных для измерения температур в скважинах.

Температура солидуса пород верхней мантии в рассматриваемом интервале глубин (50–100 км) считалась увеличивающейся от 1200 до 1370 °С. В средней части коры предполагалось, что частичное плавление охватывает породы амфиболитовой фации метаморфизма при температуре выше 600 °С. Подошва части коры, в которой имеются такие породы, предположительно располагается на глубине, где скорость продольных сейсмических волн достигает величины 6,8 км/с [2 и др.]. При фоновых температурах в платформенной коре обычного состава этот уровень достигается на 30 км. Результаты расчета в виде изолиний температур с шагом 100 °С представлены на рис. 3. Из сказанного выше следует, что предлагаемая тепловая модель региона еще может быть пересмотрена при появлении новых (геотермических и негеотермических) данных, особенно в смысле изменения площадей с аномально высокими температурами недр.

Таким образом, новые геотермические исследования склона Воронежского кристаллического массива не были особенно значительными по объему. Однако в этом слабо изученном регионе они дали возможность предварительно наметить несколько аномалий теплового потока, возникновение которых с разной степенью вероятности может быть увязано с процессами современной активизации. Существуют разнообразные данные, позволяющие предполагать распространение зон современной активизации на северо-восток, на территорию России.

Построенная по результатам исследований схема распределения глубинных температур обнаруживает значительный прогрев верхней тектоносферы части территории склона. Выявленные тепловые аномалии должны сказываться на значениях скорости сейсмических

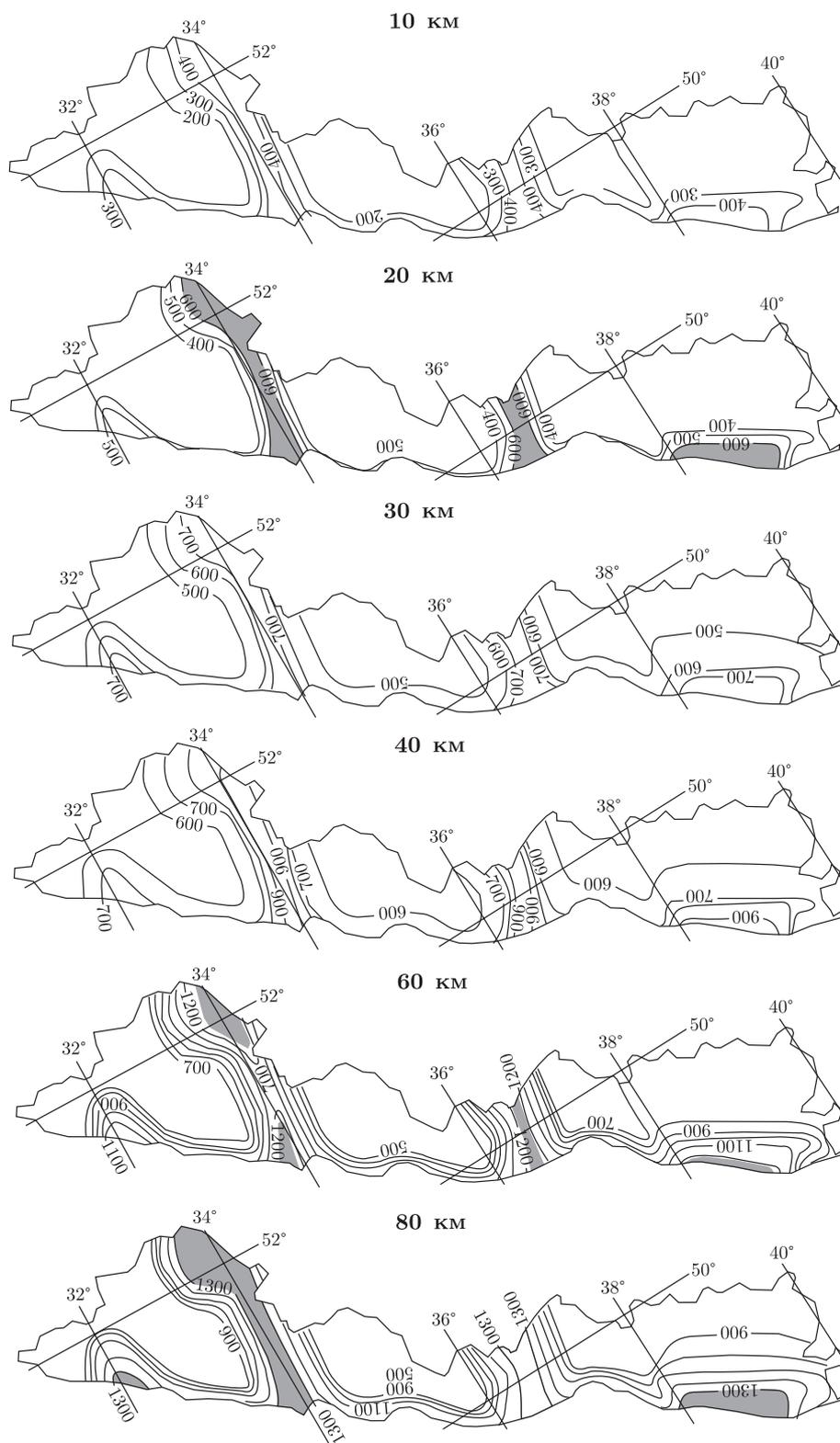


Рис. 3. Распределение температур в коре и верхних горизонтах мантии склона ВКМ. Зоны частичного плавления выделены темно-серым цветом

волн, плотности, электропроводности пород коры и верхней мантии, намагниченности корових образований, нефтегазоносности. Полученные данные следует рассматривать прежде всего как хорошую основу для комплексных геолого-геофизических исследований по обе стороны украинско-российской границы, учитывая, естественно, отмеченные выше неопределенности в оконтуривании аномальных зон.

1. *Карта теплового потока территории СССР (Объяснительная записка к карте).* М-6 1 : 5 000 000 / Ред. В. В. Гордиенко, У. И. Моисеенко. – Киев: ГКП ЦТЭ, 1991. – 1 л.
2. *Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В., Усенко О. В.* Тепловое поле территории Украины. – Киев: Знание Украины, 2002. – 170 с.
3. *Арясова О. В., Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В.* Тепловое поле склона Воронежского массива // Тр. Ин-та фундамент. исследований. – 2010. – 14. – С. 18–22.
4. *Ильченко Т. В., Калюжная Л. Т.* Скоростная и стратиграфическая модели Днепровско-Донецкого палеорифта (по профилю ГСЗ Решетиловка – Синевка) // Геофиз. журн. – 1999. – 1. – С. 85–94.
5. *Литосфера Центральной и Восточной Европы.* Геотраверсы III, VII, IX. – Киев: Наук. думка, 1993. – 160 с.
6. *Павленкова Н. И., Баранова Е. П.* Днепровско-Донецкая впадина // Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. – Москва: Недра, 1980. – С. 82–86.
7. *Соллогуб В. Б.* Литосфера Украины. – Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.
8. *Чекунов А. В., Кившик Н. К., Харитонов О. М.* Профиль ГСЗ Путивль – Кривой Рог через сверхглубокие скважины Украины // Геофиз. журн. – 1992. – 1. – С. 3–10.
9. *Grad M., Gryn D., Guterch A. et al.* DOBREFraction'99 – velocity model of the crust and upper mantle beneath the Donbas Foldbelt (east Ukraine) // Tectonophysics. – 2003. – 371. – P. 81–110.
10. *Гордиенко В. В., Гордиенко И. В., Завгородняя О. В. и др.* Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы). – Киев: Корвін пресс, 2006. – 142 с.
11. *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. – Київ: ИПЦ “Киевский университет”, 2006. – С. 129–137.
12. *Савко А. Д., Надежка Л. И., Шевырев Л. Т.* Новые данные о флюидной и сейсмической активности Воронежской антеклизы // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы. – Москва: ГЕОС, 2008. – С. 439–441.
13. *Теоретичні основи нетрадиційних геологічних методів пошуку вуглеводнів /* Ред. М. І. Євдошук. – Київ: Софія А, 2001. – 288 с.
14. *Атлас родовищ нафти і газу України.* Т. I–III / За ред. М. М. Іванюти та ін. – Львів. – 1998.
15. *Гордиенко В. В.* Адвекционно-полиморфная гипотеза процессов в тектоносфере. – Київ: Корвін пресс, 2007. – 172 с.

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

Поступило в редакцию 04.05.2012

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

Нові визначення теплового потоку на схилі Воронезького кристалічного масиву

У 48 свердловинах встановлено величини глибинного теплового потоку. Ці дані надали можливість попередньо намітити кілька додатних аномалій теплового потоку, поява яких, із різним ступенем ймовірності, пов'язана із зонами сучасної активізації. За існуючими даними можливо припустити поширення зон сучасної активізації на північний схід, на територію Росії. Побудована за результатами досліджень схема розподілу глибинних температур виявляє значний прогрів верхньої тектоносфери частини території схилу Воронезького кристалічного масиву.

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

New determinations of the heat flow on the slope of the Voronezh crystalline massif

The values of deep heat flow are studied in 48 boreholes. These data make it possible to previously detect a few positive heat flow anomalies that occur, more or less surely, due to recent activation zones. According to available data, we can assume that the recent activation zones are spread to the north-east, to Russia. The scheme of the distribution of deep temperatures that was built by the results of research shows a significant warming of the upper part of the tectonosphere on the slope of the Voronezh crystalline massif.