

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГЛУБИННЫХ ТЕМПЕРАТУР С УЧЕТОМ ИСПРАВЛЕННЫХ  
НА ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОКЛИМАТА ЗНАЧЕНИЙ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА**

**И.В. Голованова, Р.Ю. Сальманова, Ч.Д. Тагирова**

*Институт геологии УНЦ РАН, 450000, Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, Россия*

Представлены новые результаты изучения искажающего влияния палеоклимата на формирование теплового поля в верхней части земной коры на Южном Урале. Обсуждаются некоторые следствия учета влияния палеоклимата на оценки глубинного теплового потока и возможности применения полученных результатов. Рассматривается зависимость плотности теплового потока от исследованной глубины скважин, оцениваются потери глубинного тепла и глубинные температуры. Предложена новая методика расчета глубинных температур с учетом исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока. Описанная методика протестирована на имеющихся качественных данных по глубоким скважинам, в которых выполнены измерения температуры. С использованием предложенной методики выполнена оценка глубинных температур до отметки –10000 м на платформенной части Республики Башкортостан. Составлены схемы изотерм на отметках –5000, –10000 м.

Обоснована необходимость использования именно исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока для оценки термического состояния Земли. На конкретных примерах показано, что заниженные значения измеренного теплового потока, полученные по измерениям в неглубоких скважинах, могут стать причиной недооценки прогнозных температур на больших глубинах или глобальных потерь тепла.

*Геотермия, тепловой поток, температура, теплопроводность, палеоклимат, кондуктивные теплопотери, Южный Урал.*

**METHOD FOR DEEP-TEMPERATURE ESTIMATION WITH REGARD  
TO THE PALEOCLIMATE INFLUENCE ON THE HEAT FLOW**

**I.V. Golovanova, R.Yu. Sal'manova, and Ch.D. Tagirova**

New results of the study of the distorting effect of paleoclimate on the formation of the thermal field of the Earth's uppermost crust in the South Urals are presented. We discuss some consequences of taking into account the paleoclimate influence on estimates of deep heat flow and possible applications of these data. The dependence of the heat flow density on the studied depth of boreholes is considered, and deep heat loss and deep temperatures are estimated. A new method for deep-temperature estimation is proposed, which takes into account the paleoclimate influence on the heat flow. The method is tested on the available high-quality temperature data for deep boreholes. Deep temperatures to a depth of –10,000 m are estimated for the platform part of the Republic of Bashkortostan using the proposed method. Isotherm schemes are constructed for elevations of –5000 and –10,000 m below sea level.

The necessity of using heat flow values corrected for the paleoclimate influence to estimate the Earth's thermal state is justified. Some examples illustrate that underestimation of heat flow values measured in shallow boreholes might lead to underestimation of deep temperatures and global heat loss.

*Geothermics, heat flow, temperature, thermal conductivity, paleoclimate, conductive heat losses, South Urals*

**ВВЕДЕНИЕ**

Тепловой поток является основным источником информации о тепловом состоянии Земли и энергетике происходящих в ней процессов. Прикладные аспекты исследования теплового поля связаны с оценкой геотермальных ресурсов для их использования как источника энергии, а также с применением геотермического метода при поисково-разведочных работах.

Обычно при построении карт распределения теплового потока принято использовать измеренные значения теплового потока, без учета каких-либо поправок, которые могут изменяться от региона к региону. Для дальнейшего использования данных по теплому потоку необходимо, по возможности, исключить влияние искажающих факторов. Одним из таких факторов, влияние которого можно учесть и исключить, является палеоклимат.

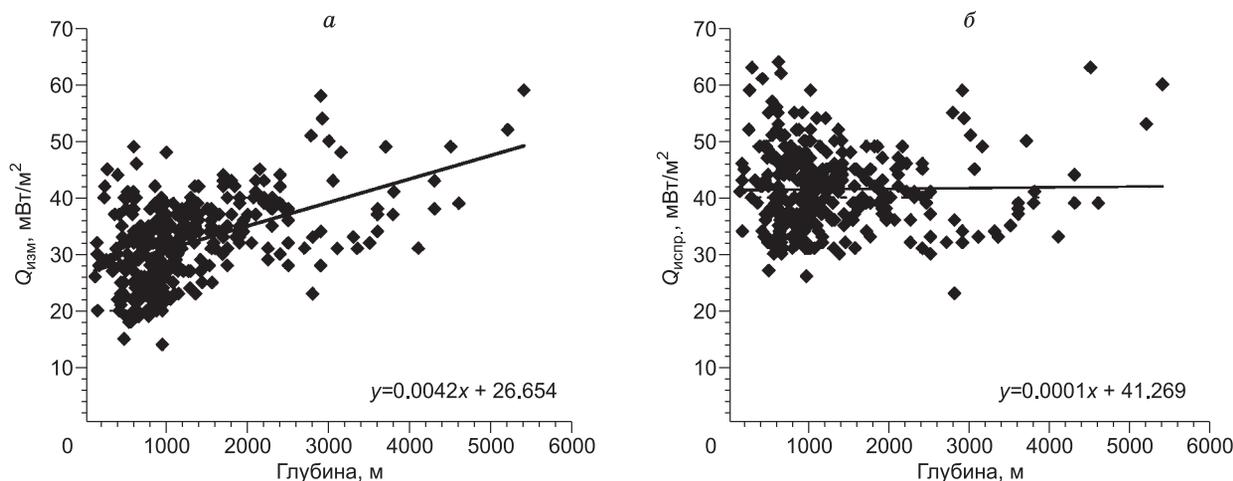
Влияние климатических изменений температуры поверхности Земли на распределение температуры с глубиной в приповерхностных слоях пород известно с 1930-х годов, когда началось изучение теплового потока Земли. Благодаря механизму теплопроводности, колебания температуры на поверхности проникают в глубь Земли с затуханием амплитуды и запаздыванием по времени, искажая температурное поле. Поэтому современное распределение температур в верхних слоях пород зависит от предыстории климатического процесса. Для учета влияния палеоклимата на измеряемый тепловой поток в первую очередь необходимы надежные сведения об изменении температуры поверхности Земли в прошлом. Долгое время влияние палеоклимата рассматривалось как помеха при измерении теплового потока. Его пытались учесть с помощью различных климатических поправок, но единой методики не существовало. На Урале при определении теплового потока поправки на климат прошлых эпох не вводились из-за отсутствия точных данных о длительности климатических эпох и амплитуде изменения температур за это время [Сальников, 1984]. Благодаря развитию в последние два десятилетия палеоклиматических исследований по геотермическим данным, сведения об изменении температуры поверхности Земли существенно пополнились, в том числе и в изучаемом регионе [Демежко, 2001; Голованова, 2005; Demezhko et al., 2007; Голованова и др., 2012; и др.], что позволяет более обоснованно учесть влияние палеоклимата на измеряемый тепловой поток. Для Урала и прилегающих территорий предложена модель прошлых изменений климата и построена карта теплового потока, исправленного на влияние палеоклимата [Голованова и др., 2008]. Для территории Европы на основе аналогичной, но несколько упрощенной модели, введены региональные поправки в измеренный тепловой поток и построена карта теплового потока с учетом влияния палеоклимата [Majorowicz, Wybraniec, 2010]. Показано, что поправки могут быть весьма значительными. Это, в свою очередь, ставит вопрос о необходимости пересмотра прежних результатов измерений теплового потока в различных регионах и уточнения выводов, сделанных на основе их анализа.

В данной работе на примере Южного Урала обсуждаются некоторые следствия учета влияния палеоклимата на оценки глубинного теплового потока и возможности применения полученных результатов. Рассматривается зависимость плотности теплового потока от исследованной глубины скважин, оцениваются потери глубинного тепла и глубинные температуры на платформенной части Республики Башкортостан.

### **ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОКЛИМАТА НА ОЦЕНКИ ГЛУБИННОГО ТЕПЛОВОГО ПОТОКА**

В предыдущих наших работах предложена модель изменений климата в прошлом на территории Южного Урала и внесены поправки на влияние палеоклимата в измеренный тепловой поток в изучаемом регионе по всем скважинам, в которых выполнены его измерения [Голованова и др., 2008]. Построена карта теплового потока Урала, исправленного на влияние палеоклимата. Показано, что палеоклимат оказывает существенное влияние на плотность теплового потока в интервале глубин до 1500—2000 м и глубже. Наиболее заметную роль в искажении современного теплового поля играют вюрм-голоценовое потепление (около 10000 лет назад) и похолодание малого ледникового периода (150—650 лет назад). В результате геотермический градиент, следовательно, и тепловой поток в этом интервале оказываются пониженными. Поправка в измеренные значения будет больше, если тепловой поток определялся в неглубокой скважине или если интервал определения теплового потока включает верхнюю часть разреза скважины.

Разная глубина определений теплового потока наряду с вероятными различиями климатической истории затрудняют палеоклиматическую корректировку и приводят к ошибкам в определении глубинного теплового потока. Анализ данных показывает, что измеренный тепловой поток возрастает с глубиной. Эта проблема довольно широко обсуждалась в литературе, авторы приходили к выводу, что тепловой поток, определенный по скважинам глубиной менее 2 км, недооценен и необходимо вводить палеоклиматические поправки. Например, в работе [Gosnold et al., 2005] приводится краткий обзор литературы и линейная зависимость между измеренным тепловым потоком в Европе и исследованной глубиной скважин по данным разных авторов (база данных Международной комиссии по теплому потоку (International Heat Flow Commission; <http://www.geophysik.rwth-aachen.de/IHFC>)). На Южном Урале и прилегающих территориях ранее также отмечалось, что скважины глубиной до 4—5 км выделяются на карте среди окружающих более мелких скважин повышенными значениями теплового потока [Голованова, 2005; и др.].



**Рис. 1. Зависимость плотности теплового потока на Урале и прилегающих территориях от изученной глубины скважин.**

*a* — для измеренных классическим методом значений ( $Q_{изм}$ ) [Голованова, 2005]; *б* — для исправленных на влияние палеоклимата значений ( $Q_{испр}$ ) [Голованова и др., 2008]; прямая — линейный тренд.

Анализ всех опубликованных данных по тепловому потоку Урала и прилегающих территорий, выполненный в данной работе, также выявил увеличение плотности теплового потока с глубиной. На рис. 1, *a* представлены опубликованные данные [Голованова, 2005] по измеренным классическим способом значениям плотности теплового потока на Урале и прилегающих территориях в зависимости от исследованной глубины скважин. Рисунок четко иллюстрирует обсуждавшуюся выше зависимость между измеренным тепловым потоком и исследованной глубиной скважин.

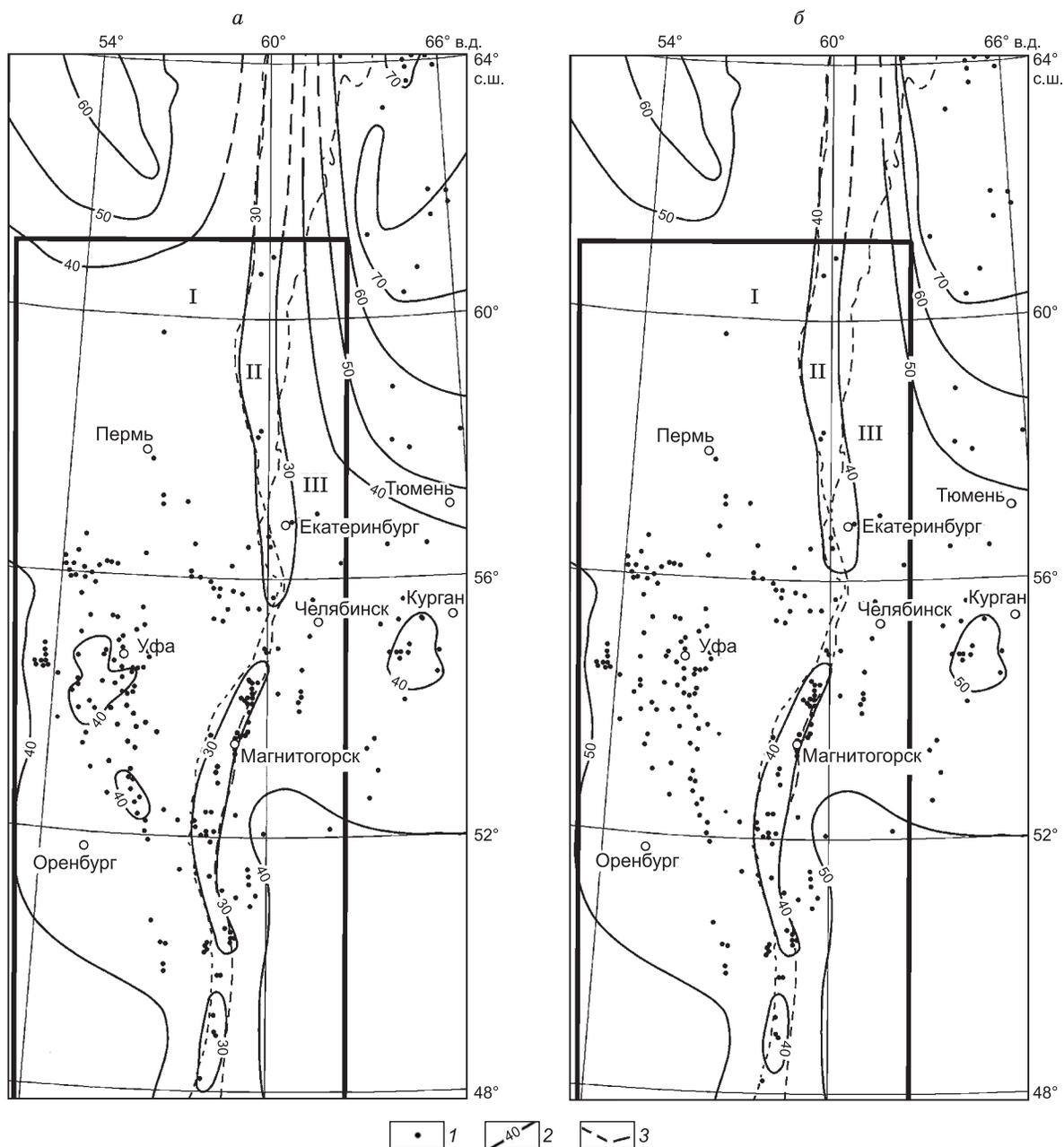
Введение палеоклиматических поправок в измеренный тепловой поток [Голованова и др., 2008] практически убирает зависимость теплового потока от глубины (см. рис. 1, *б*). Этот факт может служить подтверждением правильности предложенной модели прошлых изменений климата на Урале и использованного способа введения палеоклиматических поправок.

Без анализа теплового поля Земли невозможно построить ни одну реалистическую геодинамическую концепцию. Определения плотности кондуктивного теплового потока служат базой для решения вопроса о природе теплового потока. Полученные средние оценки теплового потока используются для оценки планетарных кондуктивных теплотерь и геознергетического баланса.

Используя карты измеренного и исправленного теплового потока Урала [Голованова и др., 2008], мы оценили среднюю плотность теплового потока для различных тектонических зон и суммарные теплотери на площади 1228125 км<sup>2</sup> (таблица). Область, для которой проводилась оценка глобальных теплотерь, показана на рис. 2. В первую зону вошли данные по восточной окраине Восточно-Европейской платформы, Предуральскому краевому прогибу, Западно-Уральской внешней зоне складчатости и Центрально-Уральскому поднятию. Во вторую — по западной части Тагило-Магнитогорской зоны. В третью зону включены данные по центральной и восточной частям Тагило-Магнитогорской зоны, Восточно-Уральскому поднятию, Восточно-Уральскому прогибу и Зауральскому поднятию. В предыдущих работах [Голованова и др., 2008] было показано, что палеоклиматические поправки по отдельным сква-

**Оценка потерь глубинного тепла**

Зона	Тепловой поток	Значение теплового потока, мВт/м <sup>2</sup>		Потери глубинного тепла, Вт
		среднее	стандартное отклонение	
I	Измеренный	36	4.4	27.23·10 <sup>9</sup>
	Исправленный	42	5.5	32.08·10 <sup>9</sup>
II	Измеренный	24	3.3	2.37·10 <sup>9</sup>
	Исправленный	36	3.5	3.20·10 <sup>9</sup>
III	Измеренный	34	7.2	12.69·10 <sup>9</sup>
	Исправленный	46	7.8	17.28·10 <sup>9</sup>



**Рис. 2. Карта теплового потока Урала, по [Голованова и др., 2008].**

*a* — измеренные значения теплового потока; *б* — исправленные на влияние палеоклимата значения теплового потока. 1 — пункты определения теплового потока; 2 — изолинии теплового потока ( $\text{мВт/м}^2$ ); 3 — границы выделенных зон (см. текст). Выделена область, для которой проводилась оценка глубинных теплопотерь.

жинам могут достигать 50 % от измеренных классическим способом значений плотности теплового потока. Из таблицы видно, что и при осреднении по достаточно большим зонам разница между измеренными и исправленными значениями достаточно велика.

Меньше всего (около 18 %) эта разница для первой зоны, где глубина скважин составляет 1300—3000 м, несколько скважин имеют глубину около 5000 м. Это объясняется тем, что интервал определения теплового потока включает глубины, большие чем 1500 м, где искажения не очень велики. А для многих глубоких скважин, в частности, для параметрических, достигающих глубин 4—5 км, оценка теплового потока выполнена только для нижней части разреза, и эти данные в наименьшей степени искажены влиянием палеоклимата.

Глубина скважин, по которым проводилось определение теплового потока в Тагило-Магнитогорской зоне и в восточной части изучаемой территории, за редким исключением не превышает 1 км. На этих глубинах искажения, вызванные влиянием палеоклимата, наиболее значительны. Поправки на влияние палеоклимата во второй и третьей зонах составляют в среднем около 35 и 37 % соответственно.

Суммарные потери тепла для изучаемой территории составляют  $42.29 \cdot 10^9$  Вт в случае, если плотность теплового потока определена классическим способом, без учета влияния палеоклимата. Если в измеренную плотность теплового потока ввести поправки на влияние палеоклимата, суммарные теплотери на выделенной территории составляют  $52.56 \cdot 10^9$  Вт. Полученные оценки теплотери значительно отличаются друг от друга. Из приведенных результатов очевидна необходимость учета влияния палеоклимата, в частности для оценки глубинных теплотери.

### ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОКЛИМАТА НА ОЦЕНКУ ГЛУБИННЫХ ТЕМПЕРАТУР

При решении многих задач возникает необходимость оценки глубинных температур. На территории Республики Башкортостан запасы углеводородного сырья в продуктивных горизонтах палеозоя с каждым годом сокращаются из-за многолетней интенсивной эксплуатации. Поэтому большой интерес представляет изучение глубокопогруженных отложений, сложенных древними рифей-вендскими породами. Имеющиеся геолого-геофизические материалы свидетельствуют о потенциальной перспективности рифей-вендских отложений рассматриваемой территории на углеводородное сырье. Одним из важных критериев, который должен приниматься во внимание при прогнозе нефтегазоносности, является современный температурный режим. Его необходимо учитывать как при изучении процессов нефтегазообразования (например, при бассейновом моделировании), так и при оценке сохранности залежей углеводородов.

Измеренные значения плотности теплового потока служат ключевым параметром при оценке глубинных температур и при составлении геотермических моделей. Измерения температуры в скважинах на изучаемой территории на протяжении многих лет проводились трестом «Башнефтегеофизика». Решая геолого-производственные задачи, эти термограммы, к сожалению, не всегда пригодны для анализа геотермического режима. Из огромного количества производственных термограмм можно использовать лишь незначительную часть. В предыдущих работах некоторые специально отобранные производственные термограммы использовались при оценке плотности теплового потока [Сальников, 1984; Голованова, 2005; и др.].

Нами заново проанализированы имеющиеся производственные термометрические материалы. Используя ранее для характеристики геотермического режима данные существенно дополнены новыми. Основное внимание уделено характеристике глубоких горизонтов осадочного чехла. Для оценки температуры на глубинах, не вскрытых бурением, отобрано 279 термограмм.

Глубины, до которых выполнено измерение температуры в скважинах, составляют в основном от 1 до 3 км. В нескольких параметрических скважинах глубина измерения температуры достигает 5.0—5.5 км. Таким образом, прямые данные о температурном режиме глубоких горизонтов практически отсутствуют. Эти сведения можно получить только путем численных оценок.

Обычно оценка глубинных температур в районах со стационарным тепловым полем проводится по известной плотности теплового потока и теплопроводности отдельных слоев земной коры [Любимова, 1968] и на первый взгляд не представляет трудностей. Однако, даже если пренебречь вкладом радиоактивных источников тепла для самой верхней части коры, оценка теплопроводности отдельных горизонтов остается отдельной сложной задачей и вносит свою долю неопределенности в результат. Кроме того, есть еще одно обстоятельство, которое может существенно повлиять на результаты расчета температур глубоких горизонтов. Это влияние прошлых изменений климата на результаты определения плотности теплового потока. Показано [Голованова и др., 2008], что на территории Башкирского Предураля поправки в измеренную плотность теплового потока на влияние палеоклимата могут составлять 20—40 % в зависимости от глубины скважины. Этот факт необходимо учитывать при оценке температур глубоких горизонтов, не вскрытых бурением.

В предположении о плоскопараллельном залегании слоев и вертикальности скважины температуру  $T(x)$  на некоторой глубине  $x$  можно представить в виде суммы [Любимова, 1968; Демежко, 2001]:

$$T(x) = T_0 + q \sum_i \frac{\Delta x_i}{\lambda_i} + \Theta(x), \quad (1)$$

где  $T_0$  — температура поверхности Земли,  $q$  — плотность глубинного теплового потока,  $\Delta x_i$  — мощность  $i$ -го слоя с теплопроводностью  $\lambda_i$ ,  $\Theta(x)$  — температурная аномалия на глубине  $x$ , вызванная прошлыми изменениями климата.

Тогда, если  $T_1$  — температура, измеренная в скважине на некоторой глубине  $x_1$ , то температуру нижележащих слоев можно рассчитать следующим образом:

$$T(x) = T_1 + q \sum_i \frac{\Delta x_i}{\lambda_i} + \Theta(x) - \Theta(x_1). \quad (2)$$

Искажения  $\Theta(x)$  для отдельных зон изучаемого региона рассчитаны на основе модели прошлых изменений климата, предложенной в работе [Голованова и др., 2008].

Проверка предложенного метода расчета глубинных температур выполнена по данным из глубокой параметрической скважины Леузинская-1, расположенной в башкирской части Юрюзано-Сылвенской впадины Предуральского прогиба. Использована термограмма, записанная в апреле 2002 г. до глубины 4512 м (рис. 3). Перед измерением температуры скважина находилась в консервации больше месяца, после окончания бурения прошло больше 3 мес. Изученная часть разреза включает отложения палеозоя до глубины 3818 м и верхнего рифея.

Сначала оценивалась плотность теплового потока в верхней части скважины на интервале 470—1160 м. Классическим методом, без учета влияния палеоклимата получено значение 35 мВт/м<sup>2</sup>. Исправленное на влияние палеоклимата значение плотности теплового потока составляет 50 мВт/м<sup>2</sup>. Затем с использованием полученных оценок теплового потока рассчитывалась температура на глубине 4000 м и сравнивалась с измеренной температурой. Результаты, приведенные на рис. 3, наглядно иллюстрируют справедливость предлагаемого метода расчета глубинных температур.

Оценки показывают, что влияние двух последних членов в правой части уравнения (2) практически несущественно. Даже если интервал определения теплового потока составляет 3000 м, их разность, согласно принятой модели изменений температуры поверхности Земли, не превышает 0.5 °С. Основной вклад в разницу между температурами на некоторой глубине, определенными с использованием измеренных и исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока, вносит плотность теплового потока  $q$ , принятая при расчетах. Оценки показывают, что при характерных для платформенной части Республики Башкортостан значениях плотности измеренного и исправленного на влияние палеоклимата теплового потока 35 и 45 мВт/м<sup>2</sup> разница в вычисленных температурах на глубине 5 км составляет порядка 20 °С, а на глубине 10 км уже порядка 40 °С. При этом температуры, вычисленные с использованием исправленной на влияние палеоклимата плотности теплового потока, лучше согласуются с результатами измерений в глубоких скважинах.

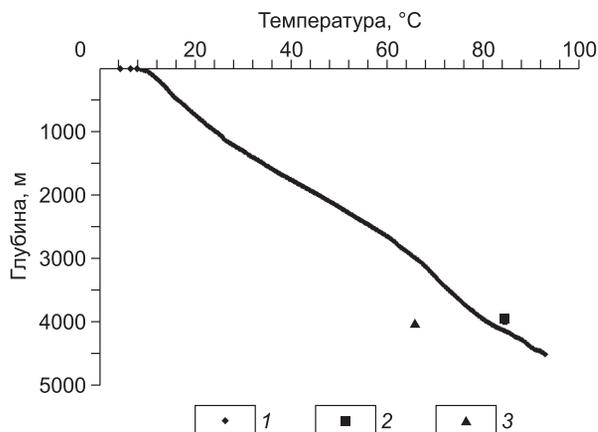
Таким образом, предлагается при оценке температур глубоких горизонтов, не вскрытых бурением, использовать не измеренные классическим способом значения плотности теплового потока, а значения, исправленные на влияние палеоклимата.

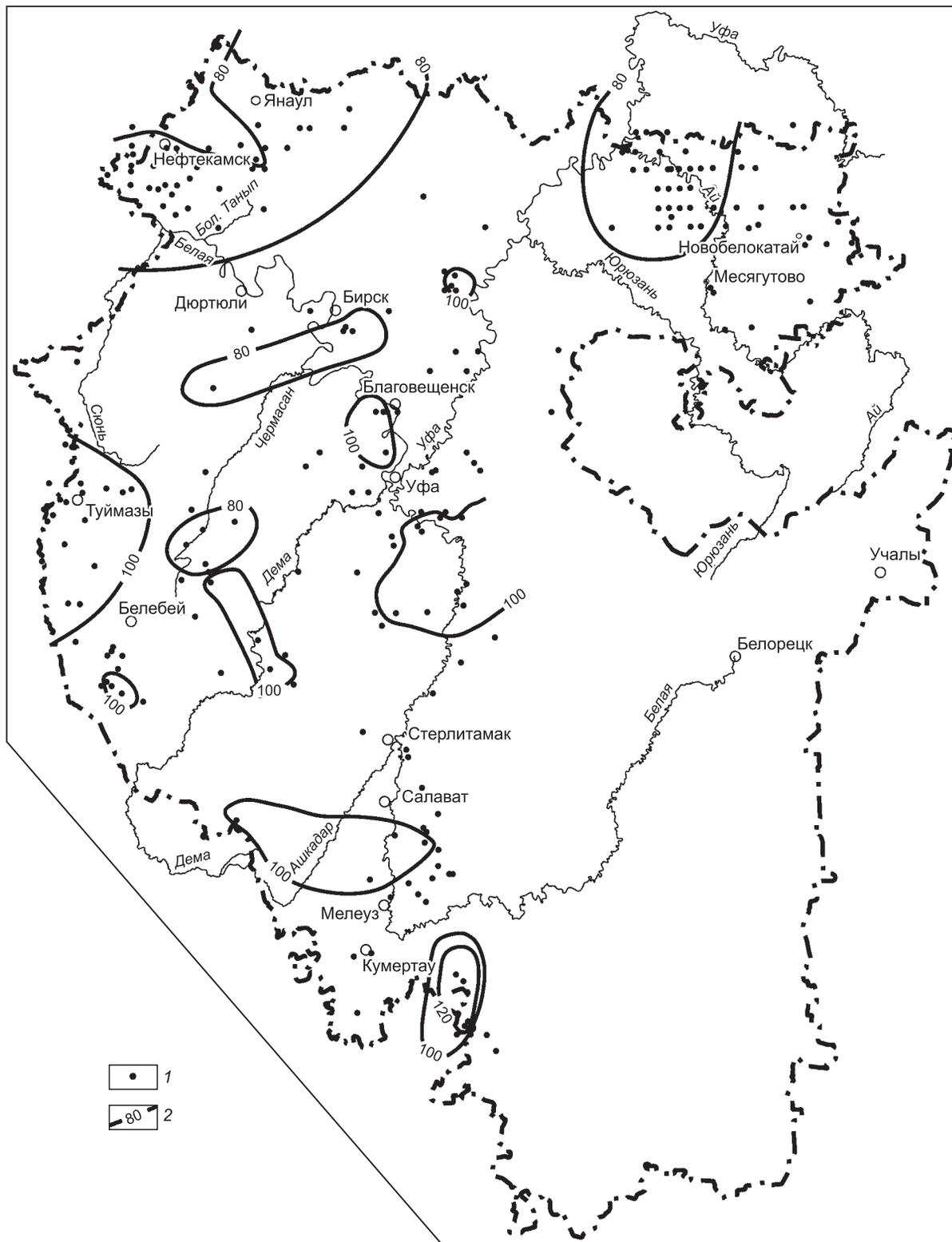
С использованием предложенного метода и материалов по региональным сейсмическим профилям выполнена оценка глубинных температур до отметки –10000 м. Составлены схемы изотерм на абсолютных отметках –5000 и –10000 м (рис. 4, 5). При оценке температур глубоких горизонтов, не вскрытых бурением, в качестве верхней границы расчетной области принята максимальная глубина, на которой надежно измерена температура в скважине. Теплопроводность выделяющихся по геолого-геофизическим данным отдельных горизонтов рифей-вендских отложений и кристаллического фундамента охарактеризована по данным наших измерений на образцах из глубоких параметрических скважин [Голованова, 2005].

Учитывая качество исходных данных, изолинии проведены через 20 °С. Температурное поле изучаемого региона неоднородно, и неоднородность возрастает с увеличением глубины. Температура меняется от 66 до 134 °С на отметке –5000 м и от 117 до 227 °С на отметке –10000 м. На обеих картах повышенными значениями температур выделяются южный купол Татарского свода и Мраковская впадина. Пониженные значения температур отмечаются на северо-востоке территории в Юрюзано-Айской впадине, в северо-западной части и в районе Бирс-

**Рис. 3. Проверка предложенного метода расчета глубинных температур.**

1 — термограмма по скважине Леузинская-1; 2 — температура на глубине 4000 м, рассчитанная по исправленному на влияние палеоклимата значению плотности теплового потока (50 мВт/м<sup>2</sup>); 3 — температура на глубине 4000 м, рассчитанная по значению плотности теплового потока в интервале 470—1160 м (35 мВт/м<sup>2</sup>), полученного без учета влияния палеоклимата.





**Рис. 4. Схема изотерм территории Республики Башкортостан на отметке -5000 м.**

1 — пункты наблюдения; 2 — изотермы (°С).

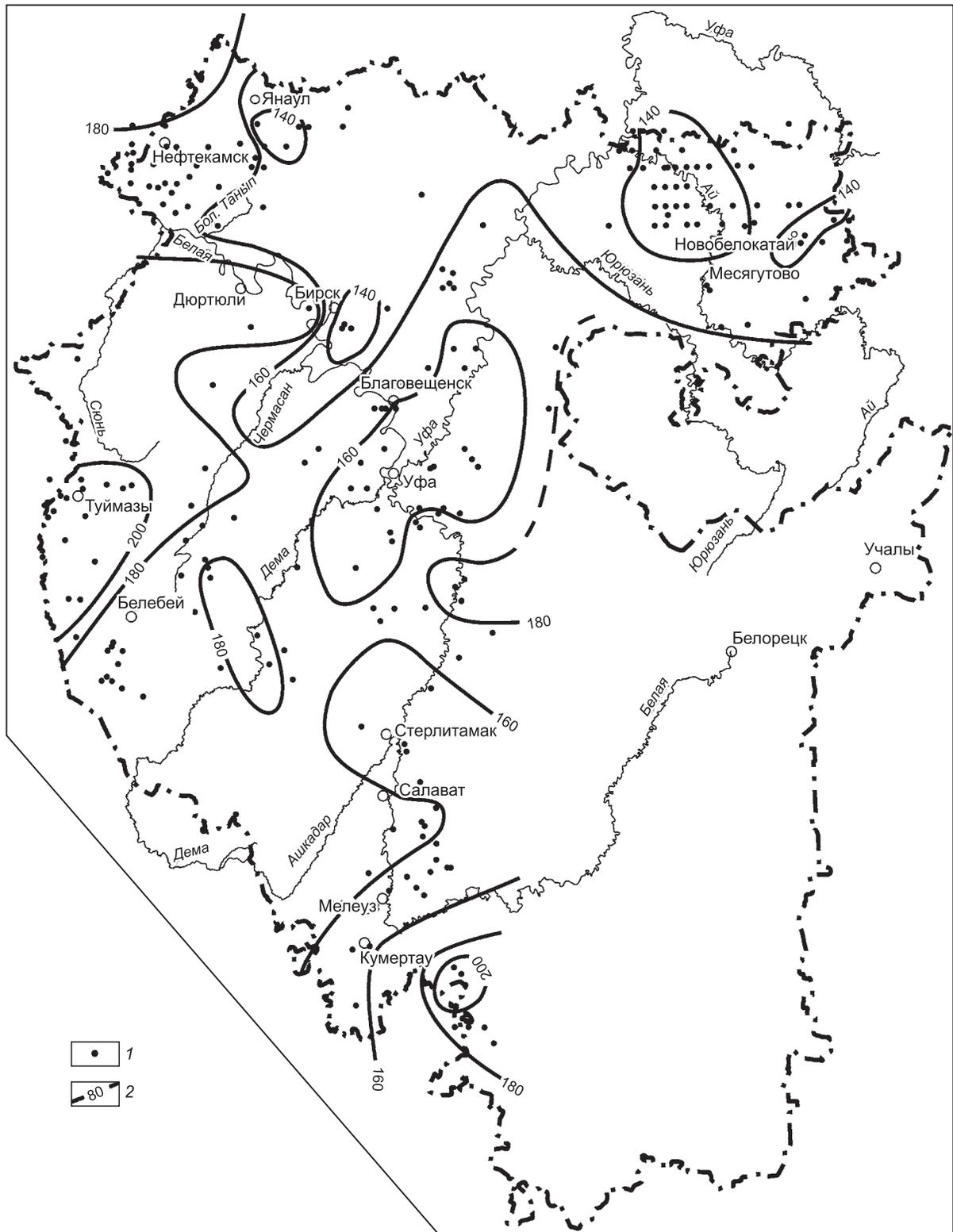


Рис. 5. Схема изотерм территории Республики Башкортостан на отметке  $-10\ 000\ \text{м}$ .

1 — пункты наблюдения; 2 — изотермы ( $^{\circ}\text{C}$ ).

кой седловины. Тепловое поле в определенных зонах сильно дифференцировано. Так как распределение плотности теплового потока на изучаемой территории относительно однородно (см. рис. 2, а, б), неоднородности температурного поля могут объясняться распределением пород с различными теплофизическими и емкостными свойствами, т.е. литолого-фациальной характеристикой разреза. Возможно влияние движения подземных вод по проницаемым зонам, хотя этот вопрос требует дополнительного изучения.

В работах Н.Н. Христофоровой с коллегами [2004, 2008; и др.] при анализе температурного поля соседней Республики Татарстан отмечается, что наблюдаемые перепады в температуре в значительной степени определяют пути миграции нефти и газа и тесно связаны с процессами формирования залежей углеводородов и, соответственно, их распределением по площади региона.

Приведенные на рис. 4 и 5 карты изотерм глубоких горизонтов построены для Республики Башкортостан впервые. Построенные геотермические карты рекомендуется использовать при проведении поисково-разведочных работ на нефть и газ в глубинных горизонтах осадочной толщи. С целью детализации и практического использования составленных карт желательно сопоставить карты изотерм с распределением гравитационных и других физических полей и тектоническим строением региона. В комплексе с другими методами, необходимы измерения температуры в скважинах и определения тепловых потоков. Это позволит проанализировать влияние возможных факторов на формирование неоднородного теплового поля. Полученные результаты в комплексе с другими геофизическими данными позволят более обоснованно оценивать перспективы нефтегазоносности глубоких горизонтов осадочного чехла платформенной части Республики Башкортостан.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние палеоклимата при изучении температуры в глубоких скважинах отмечается многими исследователями [Пименов и др., 1996; Kukkonen et al., 1997; Демежко, 2001; Safanda, Rajver, 2001; Голованова, 2005; и др.]. Статистический анализ базы данных Международной комиссии по тепловому потоку, выполненный в работе [Gosnold et al., 2005], свидетельствует о существенном занижении теплового потока, оцененного по неглубоким скважинам, вызванном значительным увеличением температуры поверхности Земли при послеледниковом потеплении. К аналогичному выводу приводит анализ данных по скважинам Южного Урала и прилегающих территорий, выполненный в данной работе. Введение поправок на влияние палеоклимата в значительной степени снижает зависимость измеренных значений теплового потока от глубины.

Отсюда следует необходимость использования именно исправленных на влияние палеоклимата значений теплового потока для оценки термического состояния Земли: глубинных температур, планетарного энергетического баланса и энергетики геологических процессов, термодинамических условий в литосфере, для оценки геотермальных ресурсов. В работе на конкретных примерах показано, что заниженные значения измеренного теплового потока, полученные по измерениям в неглубоких скважинах, могут стать причиной недооценки прогнозных температур на больших глубинах или глобальных потерь тепла.

### ЛИТЕРАТУРА

- Голованова И.В.** Тепловое поле Южного Урала. М., Наука, 2005, 189 с.
- Голованова И.В., Пучков В.Н., Сальманова Р.Ю., Демежко Д.Ю.** Новый вариант карты теплового потока Урала, построенный с учетом влияния палеоклимата // ДАН, 2008, т. 422, № 3, с. 394—397.
- Голованова И.В., Сальманова Р.Ю., Демежко Д.Ю.** Реконструкции климата на Урале по геотермическим данным // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (12), с. 1776—1785.
- Демежко Д.Ю.** Геотермический метод реконструкции палеоклимата (на примере Урала). Екатеринбург, УрО РАН, 2001, 144 с.
- Любимова Е.А.** Термика Земли и Луны. М., Наука, 1968, 279 с.
- Пименов В.П., Попов Ю.А., Климанов В.А.** Вертикальные вариации теплового потока и палеоклимат // Физика Земли, 1996, № 6, с. 84—92.
- Сальников В.Е.** Геотермический режим Южного Урала. М., Наука, 1984, 88 с.
- Христофорова Н.Н., Непримеров Н.Н., Христофоров А.В., Николаев А.В., Христофорова М.А.** Тепловой режим и оценка перспектив нефтегазоносности Приволжского региона // Георесурсы, 2004, № 1(15), с. 24—27.
- Христофорова Н.Н., Христофоров А.В., Бергеманн М.А.** Анализ геотермических карт и перспективы нефтегазоносности глубинных отложений (на примере Республики Татарстан) // Георесурсы, 2008, № 3(26), с. 10—12.

**Demezhko D.Yu., Ryvkin D.G., Outkin V.I., Duchkov A.D., Balobaev V.T.** Spatial distribution of Pleistocene/Holocene warming amplitudes in Northern Eurasia inferred from geothermal data / *Climate of the Past*, 2007, v. 3, p. 559—568.

**Gosnold W., Majorowicz J., Safanda J., Szewczyk J.** Has northern hemisphere heat flow been underestimated? Joint Assembly, AGU, SEG, NABS and SPD/AAS Abstracts, New Orleans, May 23—27, 2005.

**Kukkonen I.T., Golovanova I.V., Khachay Yu.V., Druzhinin V.S., Kosarev A.M., Schapov V.A.** Low geothermal heat flow of the Urals fold belt — implication of low heat production, fluid circulation or palaeoclimate? // *Tectonophysics*, 1997, v. 276, p. 63—85.

**Majorowicz J., Wybraniec S.** New terrestrial heat flow map of Europe after regional paleoclimatic correction application. *Int. J. Earth Sci. (Geol Rundsch)*. doi 10.1007/s00531-010-0526-1. 2010

**Safanda J., Rajver D.** Signature of the last ice age in the present subsurface temperatures in the Czech Republic and Slovenia // *Global Planet. Change*, 2001, v. 29, p. 241—257.

*Рекомендована к печати 10 июля 2013 г.  
А.Д. Дучковым*

*Поступила в редакцию  
6 мая 2013 г.*