

ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР БЕЛАРУСИ

В.И. Зуй, М.С. Жук

Институт геохимии и геофизики НАН Беларуси
ул. Купревича, 7, 220141, Минск, Беларусь
E-mail: zui@igig.org.by

Описано тепловое поле геологических структур Беларуси. Рассмотрено распределение температуры на глубине 100 м. Выполнены новые определения плотности теплового потока. В отдельных случаях пересмотрены его значения, опубликованные ранее, в которых не учитывались приповерхностные искажения геотермического градиента. Изменчивость плотности теплового потока по разрезу отражена его несколькими интервальными значениями для большинства изученных скважин. Рассмотрена связь между распространением гранитоидов и бластомилонитов в верхней части кристаллического фундамента и наблюдаемой плотностью теплового потока. Показана связь радиогенной теплогенерации с плотностью теплового потока. Кратко изложены факторы, искажающие наблюдаемую плотность теплового потока в верхних интервалах разреза платформенного чехла, преобладающее значение при этом имеет фильтрация подземных вод, прежде всего в зоне активного водообмена.

ВВЕДЕНИЕ

Территория Беларуси в тектоническом плане представляет собой зону сочленения отличающихся по эволюции и глубинному строению крупных литосферных блоков – Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии. Этот регион характеризуется многообразием структурных комплексов платформенного чехла и фундамента, что находит отражение в особенностях теплового поля. Земная кора Беларуси имеет блоковое строение. Наличие разновозрастных интрузий основного состава, пород, метаморфизованных в условиях гранулитовой фации, архейских и раннепротерозойских габброидов, интенсивная гранитизация и метаморфизм пород амфиболитовой фации являются особенностями строения кристаллического фундамента региона.

Нестационарное тепловое поле, существующее в массиве горных пород с учетом конвективной составляющей, в общем случае описывается трехмерным дифференциальным уравнением в частных производных (Зуй, 1984):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) \pm c_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} \frac{k}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} \right) \pm A(x, y, z, t) = c_p \frac{\partial T}{\partial t},$$

где λ_x , λ_y и λ_z – составляющие коэффициента теплопроводности вдоль координатных осей x , y и z ; T – температура; $c_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}}$ – объемная теплоемкость жидкости, заполняющей поровое пространство в горной породе; c_s – коэффициент объемной теплоемкости пористого пласта, насыщенного жидкостью; k – проницаемость горной породы (в общем случае может также быть функ-

цией координат); P – давление; A – источники либо стоки тепла, в частности это может быть радиогенная теплогенерация; m – динамическая вязкость пластовой жидкости, например нефти, зависящая от температуры. Для воды принимается $m = 1$. Заметим, что в уравнении опущен член, описывающий передачу тепла радиационным путем, он требует учета лишь при высоких температурах, обычно более 500 °С. В приведенном уравнении вектор скорости фильтрации

$$\vec{v} = \frac{k}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} \right),$$

\vec{v} – вектор скорости фильтрации, часто записываемый в виде $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$. Здесь \vec{i} , \vec{j} , \vec{k} – координатные орты осей $0x$, $0y$, $0z$, а v_x , v_y , v_z – составляющие вектора \vec{v} относительно тех же осей. В подавляющем большинстве случаев задачи геотермии сводятся к рассмотрению стационарных тепловых полей, за исключением приповерхностных горизонтов, где явно ощутимо влияние распространения с земной поверхности вглубь годичных либо суточных колебаний температуры. Конвективным переносом тепла при изучении теплового потока в практических случаях пренебрегают. При этом правая часть в приведенном уравнении $c_p \frac{\partial T}{\partial t}$ и конвективный член

$$c_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} \frac{k}{\mu} \left(\frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial y} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

обращаются в нуль. Тогда в стационарном тепловом поле вектор плотности теплового потока, являющегося общепризнанной интегральной характеристикой теплового режима земных недр, остается только функцией координат:

$$\vec{q}(x, y, z) = \left[-\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} + \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} + \lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right],$$

где T , $\lambda(x, y, z)$ – температура и коэффициент теплопроводности горных пород соответственно (Зуй, 1984).

Все три компоненты вектора теплового потока могут быть определены в специальных случаях, например при моделировании рефракции теплового потока, имеющей, в частности, место вблизи соляных диапиров и куполов. В подавляющем же большинстве изученных случаев преобладали вертикальные скважины. При этом было возможным изучение только вертикальной составляющей q_z , описываемой простым уравнением $q_z = q = -\lambda_z \cdot (dT/dz) = -\lambda_z \cdot \text{grad}T$. Ниже при описании плотности теплового потока и коэффициента теплопроводности будем понимать их значения в вертикальном направлении.

Интервальные значения отражают информацию о процессах, протекающих в глубоких горизонтах платформенного чехла и земной коры, с одной стороны, а также несут информацию о влиянии так называемых приповерхностных факторах в верхней части осадочных отложений – с другой. Параметры теплового поля тесно связаны с глубинными процессами, степенью раздробленности земной коры, ее блоковым строением, активностью глубинных разломов и зонами повышенной проницаемости горных пород, а также со степенью закрытости водоносных горизонтов, наличием перетоков между ними, активностью процессов фильтрации подземных флюидов в целом, глубиной проникновения годичных и вековых вариаций температуры земной поверхности и т. п. В последние годы изучение теплового поля платформенного чехла стимулируется интересом к разведке и практическому использованию возобновляемых ресурсов природного тепла – геотермальной энергии. Этими причинами вызвана необходимость детализация структуры и параметров теплового поля, в частности распределения температуры и плотности теплового потока в платформенном чехле Беларуси.

Наряду с распределением температуры в земных недрах, тепловыми свойствами горных пород, плотность теплового потока относится к важнейшим геофизическим характеристикам при изучении глубинного строения земной коры. В силу низкой теплопроводности и температуропроводности горных пород, их объемной теплоемкости геотермическое поле на протяжении тысячелетий хранит информацию о зонах активизации блоков земной коры, в том числе и разделяющих их разломов, а сам тепловой поток является наиболее информативным параметром. В частности, он имеет выраженную связь с зонами нефтенакопления.

В последние годы в Беларуси выполнен большой объем работ по регистрации термограмм скважин в пределах основных геологических структур, детализированы и построены новые карты распределения температуры и плотности теплового потока. В результате были четче окон-

турены ранее известные и выявлены новые геотермические аномалии (Урбан, Беляшов, 2003; Зуй, 2004; Урбан, Цыбуля, 2004; Zhuk et al., 2004; Zui, 2004; Зуй, 2005). Это позволило дать их более детальную интерпретацию и сопоставить полученные геотермические данные со строением геологических структур Беларуси.

ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ

Еще первые данные по распределению температуры в платформенном чехле (Протасеня, 1962^{1,2}; Богомолов, Протасеня, 1963) и сведения о плотности теплового потока (Протасеня, 1962; Богомолов, 1970; Богомолов и др., 1970, 1972) показали, что тепловое поле изучаемого региона имеет значительную неоднородность. Однако малое количество данных и их неравномерное распределение по площади не позволяли в шестидесятых и начале семидесятых годов прошлого столетия составить детальные геотермические карты региона и тем более четко проследить геотермические аномалии в пределах всей страны. В последующие годы накапливались данные по геотермической изученности практически всех геологических структур Беларуси: Белорусской антеклизы (Цыбуля, Жук, 1981, 1985; Жук, 1989; Зуй и др., 1991; Жук, Капора, 1993), Оршанской впадины (Bogomolov et al., 1982; Цыбуля, Урбан, 1984; Зуй и др., 1991), белорусской части Подляско-Брестской впадины (Цыбуля и др., 1988; Жук и др., 1989), Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа (Цыбуля и др., 1986; Зуй и др., 1993), Жлобинской седловины и западного склона Воронежской антеклизы (Зуй и др., 1991; Урбан, Беляшов, 2003). Наибольшее количество определений плотности теплового потока в этот период было выполнено в пределах Припятского прогиба (Атрошенко, 1975; Bogomolov et al., 1982; Цыбуля и др., 1984, 1985; Гордиенко, Завгородняя, 1985; Ходырева, 1987; Цыбуля, Левашкевич, 1990; Зуй и др., 1991, 1993; Жук и др., 1993; Zhuk et al., 2004). В результате проведенных исследований геотермическая изученность территории Беларуси значительно улучшилась как за счет новых данных, так и благодаря детальной обработке накопленных ранее геотермических измерений, выполненных в поисково-разведочных и гидрогеологических скважинах.

В ряде случаев были пересмотрены ранее приведенные в каталоге теплового потока его значения (Зуй и др., 1985, 1993) по отдельным скважинам. Начиная с середины 80-х годов прошлого столетия во многих скважинах было замечено, что в верхней части геологического разреза геотермический градиент плохо контролируется изменчивостью литологического состава напластования горных пород (Зуй и др., 1985). Это приводило к вертикальной изменчивости не только геотермического градиента, но и плотности теплового потока. В большинстве

случаев происходит увеличение интервальных значений плотности теплового потока с ростом глубины. Поэтому в последующих публикациях для более полной геотермической характеристики начали приводить значения теплового потока для нескольких изученных интервалов глубины. Характерную же его величину для всей скважины определяли для нижних интервалов разреза, а при немономном изменении его с глубиной принимали среднее арифметическое значение. Наиболее надежные значения соответствуют глубоким скважинам, где влияние приповерхностных факторов, таких как фильтрация подземных вод, вариации палеоклимата, невелико. Однако большинство скважин глубиной 2–4 км сосредоточено в юго-восточной части Беларуси – Припятском прогибе – и только немногие из них глубиной более 1000 м были изучены в Оршанской и Подляско-Брестской впадинах.

Геотермическая изученность территории Беларуси, распределение скважин и их глубина представлены на рис. 1, где показано местоположение скважин, в которых выполнены геотермические измерения, а длины вертикальных линий представляют глубины, достигнутые скважинным термометром при полевых измерениях. На схему вынесены границы основных геологических структур. Границы Припятского прогиба отмечены положением Северо-, Южно-Припятского разломов и разломами, ограничивающими Микашевичско-Житковичский выступ фундамента.

Изученные скважины расположены относительно равномерно в пределах территории Беларуси. Однако в подавляющем большинстве случаев в пределах Оршанской впадины, Белорусской антеклизы, Жлобинской и Полесской

седловин, Воронежской антеклизы их глубина редко превышает 300–400 м. Наиболее плотная сеть изученных скважин находится в Припятском прогибе. В пределах Прибугской структуры на границе с Польшей геотермические измерения выполнены в десятках скважин, сосредоточенных на небольшой Прибугской пло-

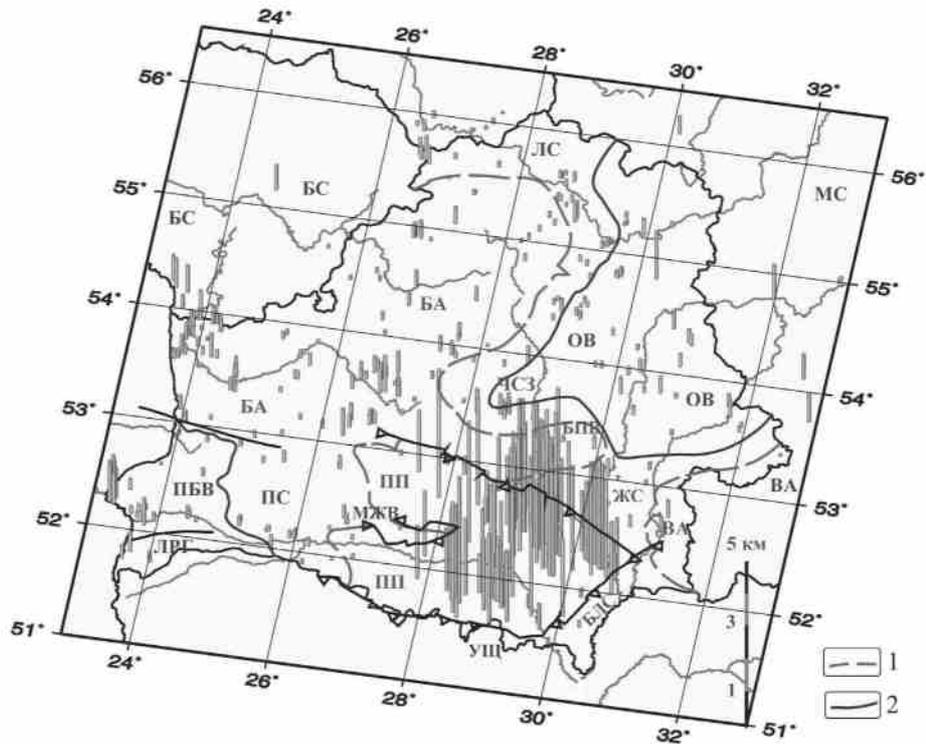


Рис. 1. Схема расположения и глубин изученных термическим методом скважин. 1 – границы положительных структур – Белорусской и Воронежской антеклиз; 2 – границы отрицательных структур – Подляско-Брестской и Оршанской впадин. Вертикальный масштаб приведен в правом нижнем углу схемы, а длины вертикальных линий в местах положения скважин изображают достигнутую термометром глубину. БА – Белорусская антеклиза; БЛС – Брагинско-Лоевская седловина; БПВ – Бобруйский погребенный выступ; БС – Балтийская синеклиза; ВА – Воронежская антеклиза; ЖС – Жлобинская седловина; ЛРГ – Луковско-Ратновский горст; ЛС – Латвийская седловина; МЖВ – Микашевичско-Житковичский выступ; МС – Московская синеклиза; ОВ – Оршанская впадина; ЧСЗ – Червенский структурный залив; ПБВ – Подляско-Брестская впадина; ПП – Припятский прогиб; ПС – Полесская седловина; УЩ – Украинский щит.

щади (около 4×9 км), на остальной же территории Подляско-Брестской впадины лишь немногие скважины были доступны для измерений. На схеме также показано положение нескольких изученных авторами скважин на территории Литвы, Латвии и России.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ГЛУБИНЕ 100 М

Наибольшее количество данных о распределении температуры можно получить по наиболее надежным термограммам (около 415) для глуби-

ны 100 м, зарегистрированным в скважинах Беларуси. Для построения карты распределения температуры на этой глубине использованы результаты собственных измерений температуры в скважинах, достигших теплового равновесия после завершения бурения; только единичные наиболее надежные производственные термограммы для районов, где отсутствуют другие измерения, дополнили использованный массив данных (Крапивенская в Смоленской области, Лаздияй в Литве, Дуниловичи в северной части Белорусской антеклизы). Остальные производственные термограммы по причине малой выстойки скважин до начала термометрических измерений и их невысокого качества не использовались. Они показывают, как правило, перегрев скважины на глубине 100 м по отношению к стационарной температуре окружающих горных пород.

Карта распределения температуры на глубине 100 м представлена на рис. 2. Для проведения изотерм был использован интервал $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Его величина вполне обоснована (имеется в виду, что абсолютная погрешность использованных скважинных электротермометров составляла порядка $\pm 0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$). Положение этих скважин на карте показано кружками. Слабо изученными остаются Балтийская и Московская синеклизы, а также Латвийская седловина, прилегающие к границам Беларуси. Отсутствуют данные по смежным территориям – Днепровско-Донецкой впадине, Украинскому щиту, Луковско-Ратновскому горсту в Украине, польской части Подляско-Брестской впадины и Белорусской антеклизы.

Изотермы на карте за пределами Беларуси проведены путем экстраполяции, и их конфигурация требует уточнения. Температурное поле на глубине 100 м имеет контрастный вид. Здесь отчетливо прослеживаются региональные и локальные аномалии, в пределах которых температура изменяется в диапазоне $7,0\text{--}11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, разница между крайними значениями достигает $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температура более $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ характерна для северной зоны Припятского прогиба и Подляско-Брестской впадины, где существуют положительные геотермические аномалии, а также для западного склона Воронежской антеклизы в пределах Беларуси. На конфигурацию изотерм в северной зоне Припятского прогиба накладывает отпечаток малое количество надежных термограмм, в верхних частях которых имелись бы достоверные данные по температуре на глубине 100 м. Главная ось этой аномалии ориентирована параллельно Северо-Припятскому бортовому разлому.

В Оршанской впадине выделена Восточно-Оршанская аномалия низких значений температуры $6,5\text{--}7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Зуй, 2005) в треугольнике между городами Орша – Смоленск – Чериков. Она включает почти всю Могилевскую мульду, а ее продолжение в России проведено неуверенно из-за нехватки геотермических данных и требует последующего уточнения.

Западно-Оршанская аномалия повышенных значений температуры (от $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ в центральной части до $10,0\text{--}11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в южной части), ориентированная в меридиональном направлении, прослеживается от северной зоны Припятского прогиба через западную часть Оршанской впадины и восточный склон Белорусской антеклизы. До опубликования работы (Зуй, 2004) она была недостаточно изучена и названа Центрально-Оршанской аномалией, однако последующие дополнительные данные показали, что она прослеживается по линии Речица – Светлогорск – Березино – Борисов – Лепель – Невель. В северной части она разветвляется от г. Езерище через Витебск и достигает широты Орши. Северное окончание аномалии в районе городов Езерище и Невель выделяется неуверенно, поскольку на российской территории изучена лишь одна скважина (санаторий «Голубые озера»). Аналогичная ситуация имеет место и в Беларуси.

В южной части этой полосы можно проследить локальную Бельничско-Чечевичско-Речицкую аномалию повышенной температуры (более $8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), вытянутую в меридиональном направлении. Она выделяется по 8 скважинам и на севере по изолинии $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ достигает широты Борисова. Эта аномалия отделяет восточный склон Белорусской антеклизы и Червенский структурный залив от основной части Оршанской впадины.

Западная часть Чашникско-Полоцкой аномалии пониженных значений температуры на долготу Полоцка соединяется с единой аномалией пониженной температуры на восточном склоне Белорусской антеклизы и в Червенском структурном заливе Оршанской впадины. В северном направлении она продолжается в пределах Латвийской седловины.

Изотерма $9,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, окаймляющая восточную часть Подляско-Брестской впадины, прослеживается через Полесскую седловину на территории Украины. Брестская аномалия изолинией $9\text{ }^{\circ}\text{C}$ соединяется через эту седловину с аномалией повышенной температуры в Припятском прогибе, далее она огибает Бельничско-Речицкую аномалию, охватывает западный склон Воронежской антеклизы и продолжается в пределах России. Еще одна – Гродненская аномалия повышенной температуры (более $9\text{ }^{\circ}\text{C}$) – вытянута в меридиональном направлении и достигает на севере белорусско-литовской границы.

Молодечненско-Нарочанская аномалия температуры более $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ориентирована в меридиональном направлении. Она достигает на севере места сочленения границ Беларуси, Литвы и Латвии и разделяет аномалию пониженных значений температуры в Белорусской антеклизе на две части – аномалию на восточном склоне антеклизы и аномалию в центральной части антеклизы. Наконец, Ляховичско-Ельнинская аномалия повышенных значений (более $8\text{ }^{\circ}\text{C}$) также имеет меридиональное простираение.

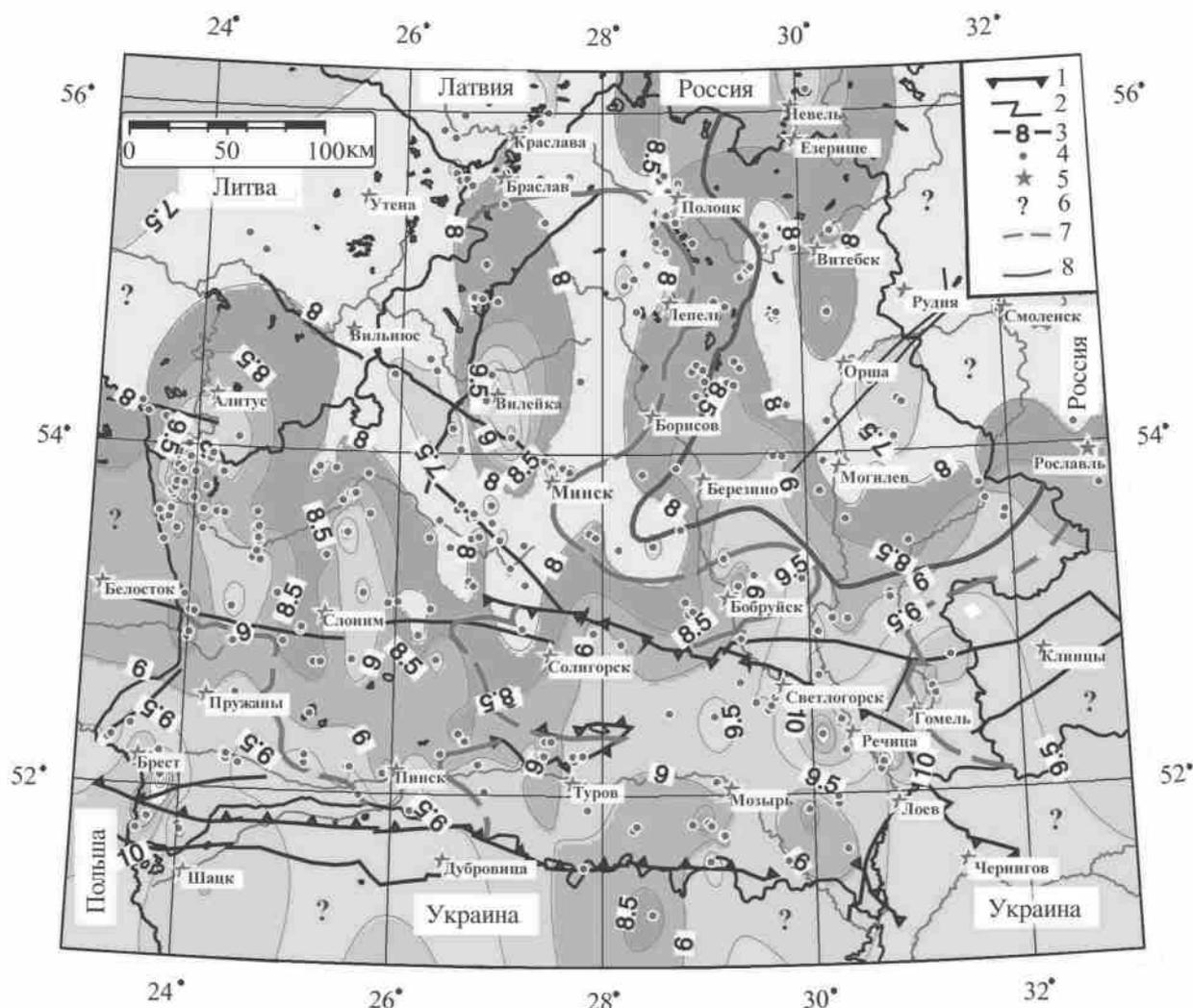


Рис. 2. Схема распределения температуры в пределах Беларуси и прилегающих структур на глубине 100 м. 1–2 – суперрегиональные и региональные разломы поверхности фундамента; 3 – изотермы, °С; 4 – изученные скважины; 5 – населенные пункты; 6 – слабо изученные зарубежные территории, где отсутствуют надежные термометры; 7 – границы положительных структур – Белорусской и Воронежской антеклиз по изогипсе -500 м; 8 – границы Оршанской впадины по изогипсе -700 м.

ТЕПЛОЙ ПОТОК

В течение 2000–2006 гг. выполнены новые определения плотности теплового потока, представленные в таблице, а также пересмотренные в отдельных случаях ранее опубликованные рядом исследователей данные. Материалы представлены в формате, соответствующем требованиям Международной комиссии по тепловому потоку (Jessop et al., 1976). При этом опущены колонки, в которых отражены альтитуды, количество скважин в кусте, количество образцов, изученных по тепловым свойствам, год публикации, значения радиогенной теплогенерации. В таблицу включены лишь наиболее представительные из изученных интервалов глубины.

Приводимые ранее высокие значения плотности теплового потока (80–109 мВт/м²) в Припятском прогибе (Атрощенко, 1975), связанные с его фокусировкой в соляных куполах, пересмотрены в работе (Zhuk et al., 2004). Такое искажение для ядра купола по отношению к фоновому значению плотности ТП ниже купола для скважин Первомайская 1 и Речицкая 17 достигает 1,4 по (Цыбуля, Левашкевич, 1990). Значение потока ниже купола составляет для Первомайской площади 75 мВт/м². В других случаях опубликованные значения ТП были занижены из-за неучета влияния фильтрации вод. Такие определения были также пересмотрены в настоящей работе. Учтены определения потока польских (Майорович, Плева, 1982; Saffanda et al., 2004), украинских (Бурьянов и др.,

Новые и исправленные определения плотности теплового потока

№	Код качества	Скважина	Координаты		Интервал глубины, м	Кол-во отсчетов температуры	Градиент температуры, мК/м	Теплопроводность, Вт/м К	Тепловой поток, мВт/м ²	Изучено интервалов и диапазон изменения потока	Ссылка*
			Широта, N	Долгота, E							
			(град., мин)								
ВУ001		Булавки	55, 35.1	28, 46.7		71			34	4 (15–34)	
A	ЕВАВНС	41пл	55, 35.1	28, 46.7	207–216	3	12.2	2.3	28	1	
B	ЕВАВНС	41пл	55, 35.1	28, 46.7	261–281	6	19.0	1.8	34	1	
ВУ002		Заскорки	55, 23.8	28, 37.2		43			30	3 (15–30)	
A	ЕВАВНС	2пл	55, 23.8	28, 37.2	75–90	4	12.7	1.6	20	1	
B	ЕВАВНС	2пл	55, 23.8	28, 37.2	210–220	3	13.0	2.3	30	1	
ВУ003		Нарочь	54, 54.9	26, 42.7		43			43	7 (25–43)	
A	ЕВАЗНС	107пс	54, 54.9	26, 42.7	350–390	5	11.5	3.7	43		
B	ЕВАЗНС	107пс	54, 54.9	26, 42.7	390–420	4	9.0	4.8	43		
ВУ004		Нарочь	54, 54.6	26, 43.5					42	14 (14–42)	
A	ЕВАЗНС	4	54, 54.6	26, 43.5	320–360		14.2	2.9	41	1	
B	ЕВАЗНС	4	54, 54.6	26, 43.5	360–517		9.2	4.6	42	1	
C	ЕВАЗНС	4	54, 54.6	26, 43.5	360–400		12.2	2.8	34	1	3
ВУ005		Нарочь	54, 54.3	26, 47.9		138			50	12 (32–52)	
A	ЕВАЗНС	101пс	54, 54.3	26, 47.9	390–515	26	15.6	2.8	44	1	
B	ЕВАЗНС	101пс	54, 54.3	26, 47.9	525–540	5	16.0	3.1	50	1	
C	ЕВАЗНС	101пс	54, 54.3	26, 47.9	205–285	17	29.4	1.78	52	1	3
ВУ006		Нарочь	54, 54.3	26, 47.8		29			42	4 (30–42)	
A	ЕВАЗНС	102пс	54, 54.3	26, 47.8	150–200	6	15.4	2.7	42	1	
B	ЕВАЗНС	102пс	54, 54.3	26, 47.8	200–290	10	28.2	1.5	42	1	
ВУ007		Нарочь	54, 54.2	26, 40.7		82			41	7 (22–41)	
A	ЕВАЗНС	1мв	54, 54.2	26, 40.7	315–360	10	12.4	3.0	37	1	
B	ЕВАЗНС	1мв	54, 54.2	26, 40.7	360–410	11	8.6	4.8	41	1	
ВУ008		Вилейка	54, 29.1	26, 52.9		999			43	5 (40–45)	
A	ЕВАВНС	15	54, 29.1	26, 52.9	320–360	999	16.3	2.6	42	1	
B	ЕВАВНС	15	54, 29.1	26, 52.9	418–438	999	29.0	1.5	44	1	
ВУ009		Плещеницы	54, 25.4	27, 46.9		88			45	5 (21–45)	
A	ЕВАВНС	1лг	54, 25.4	27, 46.9	330–420	19	14.0	1.9	27	1	
B	ЕВАВНС	1лг	54, 25.4	27, 46.9	420–440	6	18.0	2.5	45	1	
ВУ010		Самоседовка	54, 25.3	29, 01.2		54			34	2 (31–36)	
A	ЕВАВНС	36гл	54, 25.3	29, 01.2	229–246	4	17.2	2.1	36	1	
B	ЕВАВНС	36гл	54, 25.3	29, 01.2	256–263	3	15.7	2.0	31	1	
ВУ011	ЕВАГНС	Молодечно 1	54, 18.1	26, 50.6	360–375	3	11.0	4.0	44		
ВУ012		Поречье	53, 57.5	24, 09.5		56			45	5 (29–48)	
A	ЕВАЗНС	18	53, 57.5	24, 09.5	200–225	2	19.2	2.1	40	1	
B	ЕВАЗНС	18я	53, 57.5	24, 09.5	175–220	10	27.6	2.1	47	1	
C	ЕВАЗНС	18я	53, 57.5	24, 09.5	270–280	3	18.0	2.5	45	1	
ВУ013		Привалка	53, 57.2	23, 50.4		21			55	3 (51–55)	
A	ЕВАФНВ	1	53, 57.2	23, 50.4	90–130	5	27.0	1.9	51	1	
B	ЕВАФНВ	1	53, 57.2	23, 50.4	200–300	3	30.4	1.8	55	1	
ВУ014		Привалка	53, 57.0	23, 54.7		56			49	3 (49–55)	
A	ЕВАЗНС	5	53, 57.0	23, 54.7	100–125	6	18.4	3.0	55	1	
B	ЕВАЗНС	5	53, 57.0	23, 54.7	215–260	9	18.2	2.7	49	1	
ВУ015		Поречье	53, 56.7	24, 08.0		63			48	5 (27–50)	
A	ЕВАЗНС	17	53, 56.7	24, 08.0	350–400	2	14.8	3.4	50	1	
B	ЕВАЗНС	17	53, 56.7	24, 08.0	400–450	2	14.6	3.3	48	1	
ВУ016		Привалка	53, 55.7	23, 56.6		28			45	3 (39–62)	
A	ЕВАЗНС	9	53, 55.7	23, 56.6	90–130	5	34.5	1.8	62	1	
B	ЕВАЗНС	9	53, 55.7	23, 56.6	230–260	4	15.5	2.5	39	1	
ВУ017	ЕВАВНС	Поречье 1	53, 55	24, 11	225–240		15.1	3.25	49		
ВУ018		Поречье	53, 54.5	24, 09.1		99			46	6 (29–46)	
A	ЕВАВНС	12	53, 54.5	24, 09.1	355–435	17	13.0	3.4	44	1	
B	ЕВАВНС	12	53, 54.5	24, 09.1	435–465	7	14.0	3.3	46	1	
ВУ019		Поречье	53, 54.4	24, 07.9		66			39	3 (38–42)	
A	ЕВАВНС	14	53, 54.4	24, 07.9	150–215	14	20.0	2.1	42	1	
B	ЕВАВНС	14	53, 54.4	24, 07.9	300–330	7	15.0	2.5	38	1	

Продолжение таблицы

№	Код качества	Скважина	Координаты		Интервал глубины, м	Кол-во отсчетов температуры	Градиент температуры, мК/м	Теплопроводность, Вт/мК	Тепловой поток, мВт/м ²	Изучено интервалов и диапазон изменения потока	Ссылка*
			Широта, N	Долгота, E							
ВУ020		Привалка	53, 52.5	23, 49.5		127			53	5 (39–70)	
A	ЕВАФНВ	4	53, 52.5	23, 49.5	235–270	8	20.5	1.9	39	1	
B	ЕВАФНВ	4	53, 52.5	23, 49.5	345–380	8	22.0	2.3	59	1	
C	ЕВАФНВ	4	53, 52.5	23, 49.5	380–405	6	16.5	3.2	53	1	
ВУ021		Привалка	53, 51.1	23, 52.1		14			43	5 (31–54)	
A	ЕВАФНВ	3	53, 51.1	23, 52.1	100–150	3	14.6	2.1	31	1	
B	ЕВАФНВ	3	53, 51.1	23, 52.1	239–300	4	25.5	1.7	43	1	
ВУ022	ЕВАВНС	Бершты 3оп	53, 50.9	24, 16.3	250–450	41	13.8	3.3	45	1	
ВУ023		Грандичи	53, 44.6	23, 48.2		47			49	3 (49–53)	
A	ЕВАВНВ	15	53, 44.6	23, 48.2	165–195	4	29.3	1.8	53	1	
B	ЕВАВНВ	15	53, 44.6	23, 48.2	215–245	5	26.0	1.9	49	1	
ВУ024		Балесольное	53, 43.2	23, 46.4		54			44	3 (42–46)	
A	ЕВАВНВ	1	53, 43.2	23, 46.4	135–175	9	20.0	2.1	42	1	
B	ЕВАВНВ	1	53, 43.2	23, 46.4	285–295	3	19.0	2.4	46	1	
ВУ025		Гродно	53, 41.9	23, 47.0		59			48	3 (45–48)	
A	ЕВАЗНВ	1	53, 41.9	23, 47.0	175–245	15	22.0	2.1	45	1	
B	ЕВАЗНВ	1	53, 41.9	23, 47.0	280–295	4	21.0	2.3	48	1	
ВУ026		Столбцы	53, 41.8	26, 55.0		47			27	5 (22–27)	
A	ЕВАЗНВ	490	53, 41.8	26, 55.0	260–320	4	8.7	2.5	22	1	
B	ЕВАЗНВ	490	53, 41.8	26, 55.0	640–670	4	6.5	4.2	27	1	
ВУ027		Столбцы	53, 41.6	26, 54.8		70			27	6 (23–27)	
A	ЕВАЗНВ	516	53, 41.6	26, 54.8	480–520	5	7.8	3.5	27	1	
B	ЕВАЗНВ	516	53, 41.6	26, 54.8	570–630	7	8.0	3.4	27	1	
ВУ028		Околово	53, 38.8	26, 44.4		105			30	5 (23–30)	
A	ЕВАВНВ	5р	53, 38.8	26, 44.4	320–430	22	8.0	3.5	28	1	
B	ЕВАВНВ	5р	53, 38.8	26, 44.4	450–670	35	8.6	3.5	30	1	
ВУ029		Околово	53, 38.6	26, 44.8		43			28	4 (22–32)	
A	ЕВАВНВ	8р	53, 38.6	26, 44.8	210–280	8	11.0	2.0	22	1	
B	ЕВАВНВ	8р	53, 38.6	26, 44.8	330–390	7	8.0	3.5	28	1	
ВУ030		Околово	53, 38.5	26, 45.3		63			29	3 (20–29)	
A	ЕВАВНВ	9р	53, 38.5	26, 45.3	165–190	6	8.0	2.5	20	1	
B	ЕВАВНВ	9р	53, 38.5	26, 45.3	285–315	7	8.0	3.6	29	1	
ВУ031		Околово	53, 38.9	26, 44.5		53			31	5 (22–31)	
A	ЕВАВНВ	10р	53, 38.9	26, 44.5	320–470	16	8.5	3.5	30	1	
B	ЕВАВНВ	10р	53, 38.9	26, 44.5	470–500	4	9.3	3.3	31	1	
ВУ032		Шапки	53, 37.2	26, 41.5		45			26	5 (19–26)	
A	ЕВАЗНВ	306	53, 37.2	26, 41.5	230–260	4	8.3	3.0	25	1	
B	ЕВАЗНВ	306	53, 37.2	26, 41.5	350–522	12	6.9	3.8	26	1	
ВУ033		Гродно	53, 36.5	23, 50.3		56			41	3 (40–42)	
A	ЕВАЗНВ	10	53, 36.5	23, 50.3	105–195	19	18.0	2.2	40	1	
B	ЕВАЗНВ	10	53, 36.5	23, 50.3	215–270	12	19.5	2.1	41	1	
ВУ034		Рудьма	53, 36.5	26, 24.5		50			26	4 (21–26)	
A	ЕВАЗНВ	25ж	53, 36.5	26, 24.5	270–320	6	9.3	2.8	26	1	
B	ЕВАЗНВ	25ж	53, 36.5	26, 24.5	320–500	19	7.6	3.4	26	1	
ВУ035		Рудьма	53, 36.3	26, 24.2		33			25	3 (25–26)	
A	ЕВАЗНВ	24ж	53, 36.3	26, 24.2	120–180	7	12.3	2.0	25	1	
B	ЕВАЗНВ	24ж	53, 36.3	26, 24.2	210–320	12	7.1	3.5	25	1	
ВУ036		Рудьма	53, 36.3	26, 28.7		31			28	3 (23–28)	
A	ЕВАЗНВ	26п	53, 36.3	26, 28.7	130–180	6	11.4	2.0	23	1	
B	ЕВАЗНВ	26п	53, 36.3	26, 28.7	270–320	6	8.2	3.4	28	1	
ВУ037		Цидовичи	53, 46.7	23, 53.2		56			45	3 (43–51)	
A	ЕВАЗНВ	6	53, 46.7	23, 53.2	95–175	17	24.1	2.0	48	1	
B	ЕВАЗНВ	6	53, 46.7	23, 53.2	265–29	7	16.5	2.6	43	1	
ВУ038		Копаники	53, 34.4	23, 54.2		44			43	3 (31–44)	
A	ЕВАЗНВ	26	53, 34.4	23, 54.2	100–135	8	13.5	2.3	31	1	
B	ЕВАЗНВ	26	53, 34.4	23, 54.2	205–245	9	19.4	2.2	43	1	
ВУ039	ЕВАЗНВ	Брюзги	53, 33.5	23, 41.8	280–291	2	19.1	2.3	44		

Продолжение таблицы

№	Код качества	Скважина	Координаты		Интервал глубины, м	Кол-во отсчетов температуры	Градиент температуры, мК/м	Теплопроводность, Вт/м К	Тепловой поток, мВт/м ²	Изучено интервалов и диапазон изменения потока	Ссылка*
			Широта, N	Долгота, E							
ВУ040		Шнипки	53, 31.4	24, 36.6		39			45	5 (32–53)	
A	ЕВАЗНВ	8п	53, 31.4	24, 36.6	215–235	5	9.0	3.5	32	1	
B	ЕВАЗНВ	8п	53, 31.4	24, 36.6	245–65	5	19.0	2.8	53	1	
C	ЕВАЗНВ	8п	53, 31.4	24, 36.6	305–325	5	12.0	3.5	42	1	
ВУ041		Столбы	53, 30.8	26, 47.6		41			23	4 (17–26)	
A	ЕВАЗНВ	11	53, 30.8	26, 47.6	400–560	9	6.0	3.7	22	1	
B	ЕВАЗНВ	11	53, 30.8	26, 47.6	560–720	10	6.5	3.6	23	1	
ВУ042		Столбы	53, 30.0	26, 43.4		144			16	9 (13–25)	
A	ЕВАЗНВ	07	53, 30.0	26, 43.4	400–565	34	6.0	2.5	15	1	
B	ЕВАЗНВ	07	53, 30.0	26, 43.4	565–590	6	6.4	2.8	18	1	
C	ЕВАЗНВ	07	53, 30.0	26, 43.4	655–755	21	6.5	2.5	16	1	
ВУ043		Турец	53, 30.2	26, 18.9		80			23	3 (20–27)	
A	ЕВАЗНВ	15оп	53, 30.2	26, 18.9	120–180	13	7.8	2.5	20	1	
B	ЕВАЗНВ	15оп	53, 30.2	26, 18.9	195–400	42	6.8	3.4	23	1	
ВУ044		Пуховщина	53, 29.8	27, 00.0		75			22	3 (20–22)	
A	ЕВАВНВ	49п	53, 29.8	27, 00.0	235–285	11	5.4	3.7	20		
B	ЕВАВНВ	49п	53, 29.8	27, 00.0	290–10	25	6.0	3.6	22		
ВУ045		Пуховщина	53, 29.6	26, 59.9		35			18	7 (17–23)	
A	ЕВАВНВ	513	53, 29.6	26, 59.9	400–480	5	5.0	3.5	18	1	
B	ЕВАВНВ	513	53, 29.6	26, 59.9	480–520	3	6.0	3.0	18	1	
C	ЕВАВНВ	513	53, 29.6	26, 59.9	520–530	2	7.0	2.8	20	1	
ВУ046		Пуховщина	53, 29.3	27, 00.0		36			20	4 (17–20)	
A	ЕВАВНВ	507	53, 29.3	27, 00.0	280–300	3	4.8	3.9	19	1	
B	ЕВАВНВ	507	53, 29.3	27, 00.0	300–340	3	5.4	3.7	20	1	
ВУ047	ЕСАВНВ	Одельск	53, 23.5	23, 44.8		9			42	3 (33–42)	
A	ЕСАВНВ	20п	53, 23.5	23, 44.8	140–178	3	17.0	2.1	35		5
B	ЕСАВНВ	20п	53, 23.5	23, 44.8	160–178	3	20.0	2.1	42		
ВУ048		Мосты	53, 20.7	24, 38.7		44			48	3 (48–50)	
A	ЕВАФНВ	108	53, 20.7	24, 38.7	196–225	7	13.4	3.6	48	1	
B	ЕВАВНВ	108	53, 20.7	24, 38.7	196–261	13	13.0	3.5	48	1	2
ВУ049		Озераны	53, 15.2	29, 56.0		84			40	7 (27–52)	
A	ЕВАФНВ	3	53, 15.2	29, 56.0	110–400	59	14.0		36	1	2
B	ЕВАФНВ	3	53, 15.2	29, 56.0	190–235	10	21.5	2.1	45	1	
C	ЕВАФНВ	3	53, 15.2	29, 56.0	255–395	9	9.6	4.2	40	1	
ВУ050		Несвиж	53, 15.1	26, 42.5		34			21	2 (20–21)	
A	ЕВАФНВ	22	53, 15.1	26, 42.5	140–210	8	4.3	4.7	20	1	
B	ЕВАФНВ	22	53, 15.1	26, 42.5	230–330	12	4.6	4.5	21	1	
ВУ051		Несвиж	53, 13.9	26, 41.6		40			22	4 (15–24)	
A	ЕВАФНВ	14	53, 13.9	26, 41.6	140–180	5	6.7	2.4	16	1	
B	ЕВАФНВ	14	53, 13.9	26, 41.6	290–390	11	4.5	4.8	22	1	
ВУ052		Несвиж	53, 13.6	26, 41.5		36			23	2 (23–25)	
A	ЕВАФНВ	12	53, 13.6	26, 41.5	230–270	3	5.5	4.5	25	1	
B	ЕВАФНВ	12	53, 13.6	26, 41.5	290–440	16	4.7	4.8	23	1	
ВУ053		Несвиж	53, 13.5	26, 44.8		36			23	4 (18–29)	
A	ЕВАФНВ	18	53, 13.5	26, 44.8	110–140	4	9.0	2.0	18	1	
B	ЕВАФНВ	18	53, 13.5	26, 44.8	300–350	6	5.0	4.5	23	1	
ВУ054		Несвиж	53, 13.4	26, 41.0		71			23	2 (22–24)	
A	ЕВАФНВ	13	53, 13.4	26, 41.0	140–225	18	5.5	4.4	24	1	
B	ЕВАФНВ	13	53, 13.4	26, 41.0	230–360	27	4.5	4.8	22	1	
ВУ055		Щара	53, 12.0	26, 10.0		43			19	4 (18–20)	
A	ЕВАФНВ	226	53, 12.0	26, 10.0	129–150	8	10.0	2.0	20	1	
B	ЕВАФНВ	226	53, 12.0	26, 10.0	156–195	12	7.4	2.5	19	1	
ВУ056		Бобруйск	53, 10.2	29, 17.4		138			41	12 (24–43)	
A	ЕВАФНВ	691	53, 10.2	29, 17.4	310–365	12	9.5	4.3	41	1	
B	ЕВАФНВ	691	53, 10.2	29, 17.4	605–640	8	12.9	3.2	41	1	
C	ЕВАФНВ	691	53, 10.2	29, 17.4	640–695	12	13.6	3.1	42	1	
ВУ057	ЕВАФНВ	Бобруйск	53, 07.9	28, 48.1		129			27	8 (20–27)	

Продолжение таблицы

№	Код качества	Скважина	Координаты		Интервал глубины, м	Кол-во отсчетов температуры	Градиент температуры, мК/м	Теплопроводность, Вт/мК	Тепловой поток, мВт/м ²	Изучено интервалов и диапазон изменения потока	Ссылка*
			Широта, N	Долгота, E							
A	ЕВАФНВ	726	53, 07.9	28, 48.1	520–540	5	8.5	3.2	27	1	
B	ЕВАФНВ	726	53, 07.9	28, 48.1	555–585	7	8.3	3.2	27	1	
C	ЕВАФНВ	726	53, 07.9	28, 48.1	625–645	5	9.5	2.8	27	1	
ВУ058		Глуша	53, 04.5	28, 52.4		95			27	5 (16–27)	
A	ЕВАФНВ	6646/2	53, 04.5	28, 52.4	280–315	8	9.7	2.8	27	1	
B	ЕВАФНВ	6646/2	53, 04.5	28, 52.4	315–490	36	9.3	2.9	27	1	
ВУ059		Свислочь	53, 01.8	24, 07.2		12			44	4 (21–44)	
A	ЕСАФНВ	105	53, 01.8	24, 07.2	250–275	2	13.2	2.7	36	1	
B	ЕСАФНВ	105	53, 01.8	24, 07.2	283–275	2	17.5	2.5	44	1	
ВУ060		Свислочь	53, 01.7	24, 03.1		58			42	5 (26–42)	
A	ЕСАФНВ	105/4	53, 01.7	24, 03.1	250–270	5	12.5	2.7	34	1	
B	ЕСАФНВ	105/4	53, 01.7	24, 03.1	270–305	8	17.0	2.5	42	1	
ВУ061		Камен. Мост	52, 52.5	24, 26.4		36			45	7 (29–45)	
A	ЕСАВНВ	28	52, 52.5	24, 26.4	152–220	15	15.0	2.0	31	1	1
B	ЕСАВНВ	28	52, 52.5	24, 26.4	250–260	3	14.2	2.3	33	1	
C	ЕСАВНВ	28	52, 52.5	24, 26.4	260–270	3	18.0	2.5	45	1	
ВУ062		Могилыцы	52, 46.9	25, 35.5		31			32	4 (27–34)	
A	ЕСАВНВ	5	52, 46.9	25, 35.5	200–270	8	10.0	3.0	30	1	
B	ЕСАВНВ	5	52, 46.9	25, 35.5	290–330	5	8.3	3.8	32	1	
ВУ063		Трухановичи	52, 43.5	24, 29.0		20			38	4 (34–38)	
A	ЕСАФНВ	2	52, 43.5	24, 29.0	170–190	3	17.5	2.0	35	1	
B	ЕСАФНВ	2	52, 43.5	24, 29.0	190–220	3	15.0	2.5	38	1	
C	ЕСАФНВ	2	52, 43.5	24, 29.0	110–220	18	16.0	2.25	35	1	6
ВУ064		Трилес	52, 37.7	26, 44.9		35			28	6 (21–29)	
A	ЕВАЗНВ	239	52, 37.7	26, 44.9	300–500	11	8.4	3.4	29	1	
B	ЕВАЗНВ	239	52, 37.7	26, 44.9	560–700	8	8.2	3.4	28	1	
ВУ065		Дрогичин	52, 30.8	25, 42.3		14			30	6 (27–31)	
A	ЕСАВНВ	5	52, 30.8	25, 42.3	110–230	13	11	2.8	30	1	4
B	ЕСАВНВ	5	52, 30.8	25, 42.3	100–130	4	14.2	2.1	30	1	
C	ЕСАВНВ	5	52, 30.8	25, 42.3	130–170	5	11.0	2.8	31	1	
ВУ066		Брилево	52, 12.4	24, 24.1		49			42	2 (36–57)	
A	ЕВАВНВ	3	52, 12.4	24, 24.1	95–185	19	20	1.8	36	1	
B	ЕВАВНВ	3	52, 12.4	24, 24.1	175–185	3	32	1.8	57	1	
ВУ067	ЕВАВНВ	Брилево	52, 10.5	24, 24.4	105–150	10	20	1.8	36		
ВУ068		Чернавчицы	52, 12.2	23, 47.2		21			44	3 (39–56)	
A	ЕВАВНВ	750	52, 12.2	23, 47.2	80–95	4	29.5	1.9	56	1	
B	ЕВАВНВ	750	52, 12.2	23, 47.2	95–105	3	20.5	1.9	39	1	
ВУ069	ЕВАВНВ	Брилево 4	52, 12.2	24, 25.6	100–155	12	26	1.8	47		
ВУ070	ЕВАВНВ	Брилево 7	52, 10.4	24, 25.5	125–150	6	17.6	1.8	32		
ВУ071		Гирск	52, 09.2	24, 32.4		4			26	2 (25–27)	
A	ЕВАВНВ	6	52, 09.2	24, 32.4	50–75	2	14.0	1.9	27	1	
B	ЕВАВНВ	6	52, 09.2	24, 32.4	75–123	2	12.7	2.0	25	1	
ВУ072		Брест	52, 07.1	23, 41.5		30			55	2 (40–55)	
A	ЕВАЗЗС	753	52, 07.1	23, 41.5	105–135	7	20.9	1.9	40	1	
B	ЕВАЗЗС	753	52, 07.1	23, 41.5	140–150	3	28.9	1.9	55	1	
ВУ073		Бульково	52, 06.4	23, 56.5		42			45	6 (34–45)	
A	ЕСАФНВ	19	52, 06.4	23, 56.5	195–205	3	18.7	2.0	37	1	
B	ЕСАФНВ	19	52, 06.4	23, 56.5	215–220	2	18.2	2.5	45	1	
C	ЕСАФНВ	19	52, 06.4	23, 56.5	54–181	26	18	2.0	37	1	1
ВУ074		Бульково	52, 06.3	23, 56.5		49			28	7 (19–35)	
A	ЕСАФНВ	12	52, 06.3	23, 56.5	180–205	6	10.5	2.7	28	1	
B	ЕСАФНВ	12	52, 06.3	23, 56.5	205–225	5	10.9	2.5	27	1	
C	ЕСАФНВ	12	52, 06.3	23, 56.5	54–181	27	17	2.0	33	1	1
ВУ075	ЕВАЗНС	Алеся	51, 59.4	25, 41.8		95			30	8 (23–40)	
A	ЕВАЗНС	1	51, 59.4	25, 41.8	260–310	11	11.7	2.6	30	1	
B	ЕВАЗНС	1	51, 59.4	25, 41.8	310–465	32	10.7	2.7	29	1	
ВУ076		Берестье	51, 48.9	23, 42.5		60			45	7 (25–45)	

Окончание таблицы

№	Код качества	Скважина	Координаты		Интервал глубины, м	Кол-во отсчетов температуры	Градиент температуры, мК/м	Теплопроводность, Вт/мК	Тепловой поток, мВт/м ²	Изучено интервалов и диапазон изменения потока	Ссылка*
			Широта, N	Долгота, E							
A	EVAZHВ	4	51, 48.9	23, 42.5	270–310	5	22.3	2.0	45	1	
B	EVAZHВ	4	51, 48.9	23, 42.5	420–450	4	28.1	1.6	45	1	
BY077		Малорита	51, 46.4	24, 00.4		11			46	4 (30–46)	
A	EEAZZC	1a	51, 46.4	24, 00.4	140–180	3	19.3	1.9	37	1	
B	EEAZZC	1a	51, 46.4	24, 00.4	180–199	3	18.6	2.5	46	1	
BY078	EVAZHС	Малорита 1г	51, 44.7	24, 01.4	100–199	8	17.7	2.15	38	1	
BY079		Домачево	51, 44.6	23, 36.9		54			44	7 (31–45)	
A	EVAZHВ	1	51, 44.6	23, 36.9	380–400	3	16.6	2.7	45	1	
B	EVAZHВ	1	51, 44.6	23, 36.9	411–421	2	26	1.7	44	1	
BY080	EVAFHВ	Жабинка 7	52, 12.1	24, 02.8	80–189	13	21.6	2.0	43	1	

Примечание. * 1 – Жук М.С., Зуй В.И., Козел В.П. Тепловой поток Подляско-Брестской впадины и сопредельных структур // Докл. АН БССР. 1989. Т. 33, № 3. С. 257–260; 2 – Зуй В.И., Жук М.С., Козел В.П. Каталог теплового потока Белоруссии // Сейсмологические и геотермические исследования на западе СССР. Мн., 1993. С. 220–229; 3 – Урбан Г.И., Цыбуля Л.А. Тепловой поток Валтийской синеклизы. М., 2004; 4 – Цыбуля Л.А., Жук М.С., Козел В.П. Тепловой поток Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа // Белоруссия: проблемы региональной геологии. Мн.: БелНИГРИ, 1986. С. 167–172; 5 – Цыбуля Л.А., Жук М.С. Тепловой поток Белорусской антеклизы // Докл. АН БССР. 1985. Т. 29, № 8. С. 731–734; 6 – Цыбуля Л.А., Урбан Г.И., Козел В.П. Тепловой поток в Подляско-Брестской впадине и его геологическая интерпретация // Геологический журнал. 1988. № 5. С. 72–76.

1985), литовских и белорусских (Sliaupa, Rastepiene, 2000; Урбан, Цыбуля, 2004) исследователей в приграничных районах.

На основе имеющегося каталога (Зуй и др., 1993), работ (Урбан Беляшов, 2003; Zhuk et al., 2004; Зуй, 2005) и приведенных в таблице данных построена карта плотности теплового потока (рис. 3). Его распределение в значительной мере дифференцировано в пределах Беларуси. На фоне низких значений (менее 30–40 мВт/м²) выделяются положительные аномалии (более 50–70 мВт/м²) в Припятском прогибе и Подляско-Брестской впадине. Повышенные значения (40–50 мВт/м²) наблюдаются не только в пределах этих структур, но и в виде локальных аномалий в Белорусской антеклизе, южной части Оршанской впадины, на Северо-Припятском плече, в Жлобинской седловине и на западном склоне Воронежской антеклизы.

Значения теплового потока менее 30 мВт/м² формируют цепочку локальных аномалий, частично расположенных вдоль Волыно-Оршанско-Крестцовского палеопргиба (Палеотектоника Белоруссии, 1983), однако, как правило, имеющих меридиональное простирание. Наибольшая из них по площади прослеживается от северной части Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа до северной части Белорусской антеклизы в направлении городов Ганцевичи – Несвиж. На широте Минска в направлении Бобруйска от нее ответвляется полоса, охватывающая Червенский структурный залив Оршанской впадины и Осиповичское поднятие. Низкие значения теплового потока (20–25 мВт/м²) наблюдаются в пределах Бобовнянского выступа фундамента Белорусской антеклизы.

Вторая меридионально ориентированная аномалия низкого теплового потока выделена по 10 скважинам в западной части Оршанской впадины. Она прослеживается между городами Могилев и Невель. Еще одна узкая цепочка локальных аномалий – между городами Чериков и Орша. В северо-восточной части Белорусской антеклизы по 7 скважинам выделена аномалия низкого теплового потока изометричной формы несколько западнее линии Лепель – Полоцк, большая ось которой также направлена на север. Аналогичная аномалия изображена возле рамки карты, выделенная по 5 скважинам на территории Латвийской седловины за пределами Беларуси. Наконец, в крайней юго-восточной части Подляско-Брестской впадины южнее линии Дивин – Пинск по 3 скважинам выделено северное окончание аномалии теплового потока менее 30 мВт/м², имеющей меридиональное простирание. На территории Украины она подтверждается данными по 6 скважинам.

Вдоль северо-западного и юго-восточного краев Волыно-Оршанско-Крестцовского палеопргиба в его периферийных зонах отмечаются небольшие локальные аномалии плотности теплового потока (до 50–60 мВт/м²). Масштаб карты (см. рис. 3) затрудняет их изображение. Они обычно приурочены к раннепротерозойским гранитоидным массивам (Житковичский горст, Мостовский, Выгодский, Марцинконисский и другие массивы) в центральной части Белорусской антеклизы (Цыбуля, 1984; Жук, 1989).

Наиболее высокий тепловой поток в пределах региона наблюдается в северо-восточной и восточной частях Припятского прогиба. Его значение достигает 60–70 мВт/м² (Zhuk et al., 2004), а в

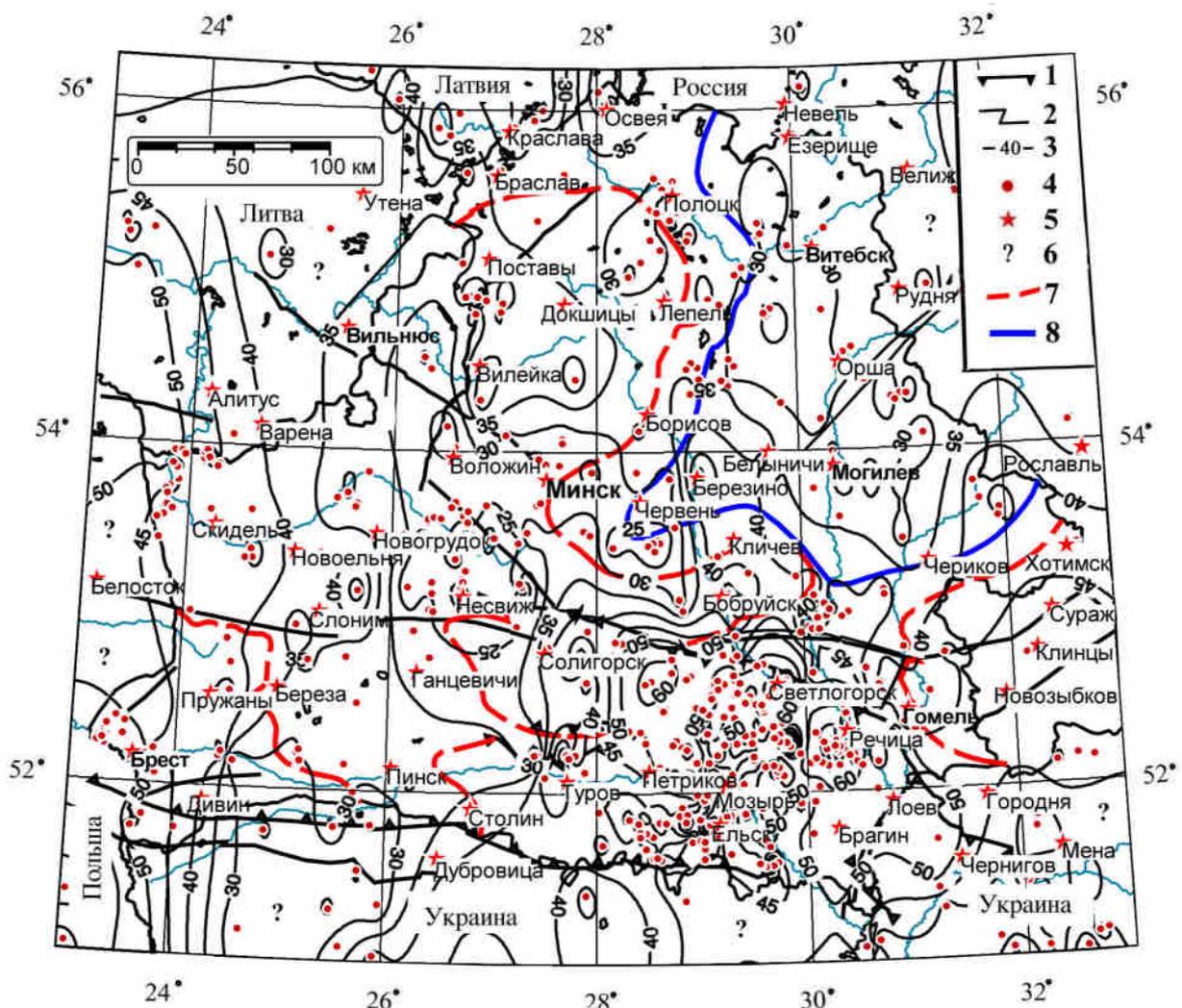


Рис. 3. Карта плотности теплового потока Беларуси, мВт/м². 3 – изолинии плотности теплового потока. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

пределах Березинской, Шатилковской, Первомайской и Озерщинской структур оно превышает 75 мВт/м². Аналогичные высокие значения отмечаются и в пределах Красносельской, Речицкой, Барсуковской структур. В южной зоне прогиба плотность ТП изменяется от 25 до 60 мВт/м². Здесь отмечается цепочка локальных аномалий, оконтуренных изолинией 50 мВт/м², вытянутых вдоль Южно-Припятского краевого разлома.

В Подляско-Брестской впадине значение потока изменяется от 35 до 60 мВт/м² (Цыбуля и др., 1988; Жук и др., 1989). В направлении периферии впадины происходит его убывание до 30–40 мВт/м². Изолиния 40 мВт/м² объединяет положительные аномалии во впадине и центральной части Белорусской антеклизы в окрестностях Гродно. Ее северное продолжение на территории Литвы изучено недостаточно. Возможно, оно соединяется с аномалией высокого теплового потока в западной Литве и Калининградской области (Hurtig, 1991/1992). В пределах западного склона

Воронежской антеклизы плотность потока превышает 40 мВт/м².

Вопреки ожидавшемуся направлению обширных аномалий температуры и плотности теплового потока вдоль оси Волыно-Оршанско-Крестцовского палеопрогиба, они распадаются на несколько меньших по площади аномалий, ориентированных в меридиональном направлении, что может свидетельствовать, в частности, о повышенной проницаемости земной коры вдоль Одесско-Беломорской зоны разломов. В пределах Беларуси здесь выделен Чашникский разлом фундамента и Хойникский разлом в платформенном чехле в Припятском прогибе.

Повышенные значения температуры и плотности теплового потока выходят за северный краевой разлом Припятского прогиба и прослеживаются в меридиональном направлении через Северо-Припятскую ступень, восточную часть Бобруйского погребенного выступа и далее в западной части Оршанской впадины и на восточ-

ном склоне Белорусской антеклизы вплоть до широты г. Невель (Россия). В южной части этой аномалии значения плотности теплового потока выше, чем в северной. По мере приближения к северному борту Припятского прогиба происходит увеличение плотности потока до значений более 40–50 мВт/м².

МАССИВЫ ГРАНИТОИДОВ И БЛАСТОМИЛОНИТОВ И НАБЛЮДАЕМЫЙ ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

В строении кристаллического фундамента Беларуси выделяются массивы гранитоидов разного возраста и состава, пояса бластомилонитов, гнейсы и другие породы. Имеет смысл сравнить площадное распространение массивов кислых пород, в частности поясов гранитоидов и бластомилонитов, вытянутых вдоль глубинных разломов, выявленных в кристаллическом фундаменте, с распределением плотности теплового потока.

Как известно, в массивах кислых пород, по сравнению с толщами пород основного состава, концентрация долгоживущих изотопов – урана, тория и калия, вносящих основной вклад в значение радиогенной теплогенерации, значительно выше. Для выяснения связи структуры теплового потока с распространением массивов гранитоидов в пределах Беларуси составлена карта (рис. 4), на которой гранитоиды показаны без разделения их на отдельные типы и комплексы. Данные по распространению гранитоидных массивов и бластомилонитов заимствованы из карты кристаллического фундамента (Карта ..., 2002).

Следует отметить, что в пределах Оршанской впадины кристаллический фундамент изучен лишь немногими скважинами. Выделение массивов гранитоидов выполнено по магнитным аномалиям. Основные полосы бластомилонитов выявлены в пределах Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса в западной и северо-западной частях Беларуси. В восточной части изучаемой территории выявлен лишь один массив бластомилонитов, приуроченный к Чашникскому разлому, а в северной части региона – полоса между Браславом и Освеей с включением цепочки небольших массивов гранитоидов.

В пределах Подляско-Брестской впадины и прилегающей части Белорусской антеклизы – между Малоритой и Новоельней – зона с плотностью теплового потока более 40 мВт/м² удовлетворительно согласуется с направлением поясов бластомилонитов и немногочисленных массивов гранитоидов, далее она окаймляет Мостовский и Выгодский массивы гранитоидов и трансформируется на территорию Литвы. В приграничной же с Польшей полосе Подляско-Брестской впадины, оконтуренной изолинией 50 мВт/м², такое соответствие хотя и имеет место, однако эта изолиния сечет полосы бластомилонитов. Видимо, здесь сказывается влияние переноса

тепла фильтрующимися подземными водами из прилегающих частей Белорусской антеклизы и Луковско-Ратновского горста во впадину. Подтверждением тому является развитая здесь зона пресных вод до глубины 1000–1100 м в районе Бреста в полосе, прилегающей к белорусско-польской границе (Станкевич, 2004).

В районе озера Нарочь в скважинах Нарочь 101пс, 102пс, пробуренных в пределах полосы бластомилонитов, отмечено несколько повышенное значение потока (до 50 мВт/м²) по сравнению со скважинами, пробуренными западнее в санаториях «Белая Русь» и «Строитель» (41–43 мВт/м²). Видимо, это свидетельство некоторой тектонотермальной активизации, имевшей место вдоль глубинного разлома, пересекающего акваторию озера Нарочь.

В центральной части Беларуси не наблюдается четко выраженной корреляции между распространением массивов гранитоидов и тепловым потоком. Видимо, мощность выделенных здесь гранитоидных массивов незначительна и они не могут оказать заметного влияния на его увеличение. Так, в районе Ганцевичей, Несвижа, Минска, Воложина плотность теплового потока, как правило, не превышает 30 мВт/м². Аналогичная ситуация имеет место и на территории между Вилейкой и Вильнюсом.

Массив бластомилонитов с цепочкой гранитоидов в северной части Беларуси между Браславом и Освеей находит отражение в несколько повышенном тепловом потоке в скв. Шкяуне, расположенной практически на белорусско-латвийской границе со стороны Латвии. Однако в геотермическом плане эта территория слабо изучена по обе стороны границы.

Гранитоидный массив, расположенный между Светлогорском и Бобруйском, отчетливо отражается в повышении плотности теплового потока до значений более 40 мВт/м², которые прослеживаются на север до широты г. Борисов и далее до российско-белорусской границы на траверсе г. Невель. Однако на участке от Борисова до границы с Россией плотность теплового потока снижается до 30–35 мВт/м². Пространственно этот участок относительно повышенного потока включает и выделенный здесь массив бластомилонитов. В остальной части Оршанской впадины практически не отмечается связи плотности теплового потока с изображенными на карте массивами гранитоидов. Следует еще раз подчеркнуть, что изучена Оршанская впадина как по строению фундамента, так и по тепловому потоку значительно хуже, чем соседние структуры.

Наконец, отметим, что наблюдается удовлетворительная корреляция между повышенным тепловым потоком (более 40 мВт/м²) и положением массивов гранитоидов в пределах западного склона Воронежской антеклизы (восточнее линии Гомель – Чериков), заходящего на территорию

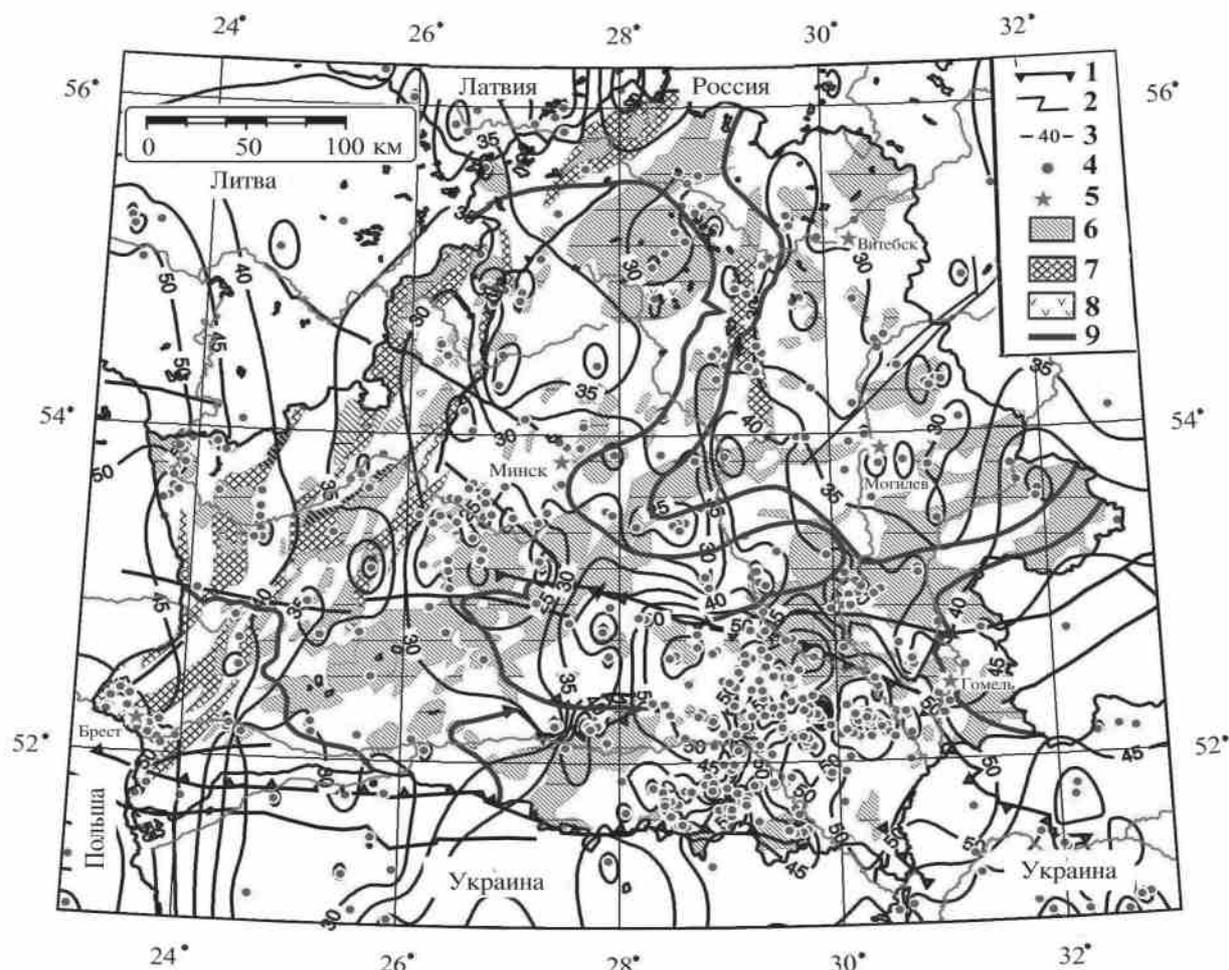


Рис. 4. Сопоставление схемы распределения плотности теплового потока, мВт/м², с гранитоидными массивами (6) и поясами бластомилонитов (7) в пределах Беларуси; 8 – гнейсы; 9 – границы основных структур. Остальные условные обозначения см. на рис. 2.

Беларуси. В итоге можно отметить, что связь распространения массивов гранитоидов и бластомилонитов с наблюдаемой плотностью теплового потока неоднозначна. Там, где мощность гранитоидов выше, а их возраст моложе, наблюдается повышение плотности теплового потока за счет влияния повышенной радиогенной составляющей. В границах их маломощных толщ это влияние практически не ощущается.

ТЕПЛОЙ ПОТОК И РАДИОГЕННАЯ ТЕПЛОГЕНЕРАЦИЯ

Тепловой поток, наблюдаемый у земной поверхности, формируется из его части, поступающей в подошву земной коры из верхней мантии (редуцированный тепловой поток), и составляющей, генерируемой в земной коре за счет радиогенной теплогенерации, которая возникает при распаде в основном радиоактивных изотопов – урана, тория, радия и калия. Вклад последней в тепловой поток для большинства блоков земной коры в областях стационарного тепло-

вого режима может достигать 40–70 % (Смыслов и др., 1979). Наоборот, сильно эродированные блоки коры с малой мощностью гранито-гнейсового слоя, характеризуются низкими и весьма низкими значениями коровой составляющей потока.

В пределах изучаемого региона были проведены исследования по радиогенной теплогенерации пород кристаллического фундамента, вскрытых бурением (Жук, 1989; Šliaupa, Rasteniene, 2000; Лосева и др., 2005), включая и отдельные скважины, где имеются данные по тепловому потоку. На основе статистически обработанных радиологических и геофизических данных по Белорусской антеклизе установлено, что тепловыделение A (мкВт/м³) кристаллического фундамента связано с гамма-активностью γ (пА/кг) соотношением $A = 1,17 \gamma + 0,16$ (Жук, 1989). Эта зависимость получена при анализе гамма-активности по более чем 380 скважинам антеклизы, вскрывшим кристаллический фундамент. Радиогенная теплогенерация имеет прямую связь

с плотностью теплового потока. Большим значениям A соответствует большой тепловой поток и наоборот.

Низким значениям потока (менее 20–30 мВт/м²) в блоках земной коры с повышенной основностью пород (Барановичский, Клецкий блоки, Околовская грабен-синклинали) (Верришко, Шитц, 1981) соответствует низкая теплогенерация. В них имели место процессы базификации и эрозии земной коры. Повышенные значения потока (более 40–60 мВт/м²) характерны для областей преимущественного распространения амфиболит-гнейсового комплекса пород в центральной и юго-восточной частях Беларуси, а также в гранитоидных массивах Марцинконисский, Мостовский, Выгодский и других. В зонах бластомилонитов также наблюдаются в целом повышенные значения теплогенерации.

Для Белорусской антеклизы величина наблюдаемого теплового потока связана с радиогенной теплогенерацией A зависимостью $ТП = 20 + 8,7 \cdot A$ (Жук, 1989_{1,2}), а вклад радиогенной составляющей в наблюдаемый поток для различных блоков земной коры антеклизы изменяется от 30 до 50%. Аномалии низкого ТП в пределах Вольно-Оршанско-Крестцовского палеопргиба (Тектоника Белоруссии, 1976) могут быть в значительной степени связаны с эрозией верхней части кристаллического фундамента в период образования локальных сводных поднятий (Цыбуля, 1984).

Мнения относительно контрастности распределения теплового потока в Припятском прогибе высказывались неоднократно (Богомолов и др., 1972; Атрощенко, 1975; Цыбуля, Анпилогов, 1977; Цыбуля и др., 1984; Пархомов, 1985; Цыбуля, Левашкевич, 1990). Природу тепловой аномалии в северо-восточной части прогиба исследователи объясняют разными причинами: восходящим движением подземных вод, рефракцией теплового потока в солянокупольных структурах, неотектоническими движениями и разломной тектоникой. По результатам моделирования (Пархомов, 1985; Козел, 1989), положительная аномалия теплового потока в северо-восточной части Припятского прогиба имеет глубинное происхождение и генетически связана с Северо-Припятским краевым разломом, который сохраняет активность до настоящего времени (Москвич и др., 1989). Несомненно влияние и радиогенной теплогенерации (Цыбуля, Анпилогов, 1977), однако определить ее количественный вклад трудно, поскольку имеются лишь одиночные данные о содержании изотопов урана, тория и калия.

Повышенная плотность потока в Житковичском горсте хорошо согласуется с радиогенной теплогенерацией в гранитоидных породах фундамента – до 3,7 мВт/м³. Ей соответствует повышенный ТП (42–60 мВт/м²), в Микашевичском горсте – 0,5–1,2 мВт/м³ и 21–24 мВт/м² соответственно.

В пределах Подляско-Брестской впадины радиогенная теплогенерация в приповерхностных частях фундамента изменяется от 1,2 до 4 мВт/м³ (гранитоиды, плагиогнейсы, гранодиориты). Ей соответствует положительная аномалия теплового потока более 50 мВт/м² (Цыбуля и др., 1988; Жук и др., 1989) по направлению к Луковско-Ратновскому горсту значения потока снижаются до 40 мВт/м² (Бурьянов и др., 1985), что можно объяснить как наличием мантийного абиссолита, частично внедренного в земную кору с малой теплогенерацией, так и разгрузкой подземных вод с горста в центральную часть впадины.

ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Из практики известно, что нисходящая фильтрация подземных вод в районе скважины отражается в виде вогнутой формы термограммы, тогда как восходящая фильтрация регистрируется в виде выпуклой кривой (рис. 5). Направление инфильтрации показано стрелкой вниз, а восходящей фильтрации – стрелкой вверх. Термограмма, представленная прямой линией, соответствует однородной толще отложений в случае отсутствия вертикальной фильтрации ($V = 0$). На рис. 5 показан идеальный

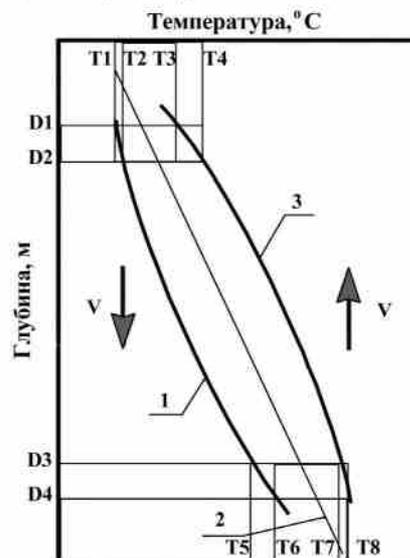


Рис. 5. Вид термограмм при наличии инфильтрации (1), восходящей фильтрации (3) и при отсутствии фильтрации (2) для однородной толщи отложений. Вектор V изображает направление и скорость фильтрации флюида.

случай, когда скважина вскрыла однородную толщу пород с неизменным коэффициентом теплопроводности, а ствол скважины находился в тепловом равновесии с массивом горных пород перед началом геотермических исследований.

Одним и тем же глубинам D1 и D2 соответствуют температуры T1 и T2 на вогнутой термо-

грамме (наличие инфильтрации) и T3 и T4 – на выпуклой термограмме (случай восходящей фильтрации). Очевидно, что и значения температуры и геотермического градиента для одинакового интервала D1–D2 будут разными. Более низкие значения разности температуры на границах интервала и геотермического градиента в верхней части геологического разреза будут соответствовать вогнутой термограмме, а более высокие – выпуклой кривой.

В нижней же части разреза одним и тем же глубинам D3 и D4 соответствуют температуры T5 и T6 на вогнутой термограмме (наличие инфильтрации) и T7 и T8 – на выпуклой термограмме (случай восходящей фильтрации). Очевидно, что и значения разности температуры и геотермического градиента в интервале D3–D4 разные. Однако теперь более низкие значения геотермического градиента будут соответствовать выпуклой термограмме, а более высокие – вогнутой кривой.

Влияние подземных вод наиболее существенно сказывается лишь в верхних частях платформенного чехла в зоне интенсивного водообмена, а также в наиболее приподнятой трещиноватой части кристаллического фундамента, где выявлены пресные воды. В случае преобладания инфильтрации интервальные значения потока (см. табл.) увеличиваются с глубиной. В зонах же разгрузки подземных вод в долины рек плотность теплового потока убывает с глубиной.

Основные аномалии низких значений температуры (см. рис. 2) и плотности теплового пото-

ка (см. рис. 3) соответствуют Белорусской антеклизе и Оршанской впадине. В последней подавляющее большинство изученных скважин завершено в зоне распространения пресных вод. На обеих структурах верхняя часть платформенного чехла промыта инфильтрационными водами. В центральной части Белорусской антеклизы они выявлены и на трещиноватых участках кристаллического фундамента (Богомолов, Шпаков, 1974). Приведенные данные могут быть одним из объяснений существования аномалий низких значений температуры и наблюдаемой плотности теплового потока в пределах Белорусской антеклизы и Оршанской впадины, наряду с низкой радиогенной теплогенерацией.

Результаты изучения распределения температуры на глубине 100 м и плотности теплового потока в пределах Беларуси показывают, что геотермическое поле тесно связано как с особенностями глубинного строения и эволюции блоков земной коры, так и с фильтрацией подземных вод. Значительную роль при этом играет распределение радиогенной теплогенерации в приповерхностных частях фундамента с направлением и интенсивностью циркуляции флюидов прежде всего в верхней части платформенного чехла, рефракцией потока в солянокупольных структурах и другими факторами.

Авторы благодарят профессора Г.И. Каратаева за критические замечания, высказанные при чтении рукописи.

Работа выполнена частично в рамках гранта БРФФИ № X06Б-002/2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- АТРОЩЕНКО П.П. Геотермические условия северной части Припятской впадины. Мн., 1975. 104 с.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ЛЮБИМОВА Е.А., ЦЫБУЛЯ Л.А., КУТАСОВ И.М., АТРОЩЕНКО П.П. Тепловой поток в Припятской впадине // Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1970. № 2. С. 97–103.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ПРОТАСЕНЯ Д.Г. Белорусская ССР // Термальные воды СССР и вопросы их теплоэнергетического использования. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 27–33.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ЦЫБУЛЯ Л.А., АТРОЩЕНКО П.П. Геотермическая зональность территории БССР. Мн., 1972. 216 с.
- БОГОМОЛОВ Г.В., ШПАКОВ О.Н. Гидрогеология Белорусского кристаллического массива. Мн., 1974. 105 с.
- БОГОМОЛОВ Ю.Г. Данные о тепловом режиме земной коры юго-запада БССР // Докл. АН БССР. 1970. Т. XIV, № 1. С. 57–60.
- БУРЬЯНОВ В.Б., ГОРДИЕНКО В.В., ЗАВГОРОДНЯЯ О.В. и др. Геофизическая модель тектоносферы Украины. Киев, 1985. 212 с.
- ВЕРИШКО Ф.С., ШИТЦ В.А. Глубинное строение Центрально-Белорусского массива // Тектоника и палеогеография запада Восточно-Европейской платформы. Мн., 1981. С. 100–109.
- ГОРДИЕНКО В.В., ЗАВГОРОДНЯЯ О.В. Определения теплового потока на Восточно-Европейской платформе // Докл. АН УССР. Сер. Б. Геол., геохим. и биол. науки. 1985. № 2. С. 10–13.
- ЖУК М.С. Геотермическая характеристика земной коры Белорусской антеклизы и смежных областей // Геотермия и ее применение в региональных и поисково-разведочных исследованиях. Свердловск, 1989. С. 55.
- ЖУК М.С. Тепловой поток и радиогенная теплогенерация пород фундамента Белорусской антеклизы // Докл. АН БССР. 1989. Т. 33, № 1. С. 71–74.
- ЖУК М.С., ЗУЙ В.И., КОЗЕЛ В.П. Тепловой поток Подляско-Брестской впадины и сопредельных структур // Докл. АН БССР. 1989. Т. 33, № 3. С. 257–260.
- ЖУК М.С., КАПЮРА М.С. Гидрогеотермические условия осадочного чехла восточного склона Белорусской антеклизы // Сейсмологические и геотермические исследования на западе СССР. Мн., 1993. С. 165–177.
- ЖУК М.С., МАКАРЕНКО В.С., ЦАЛКО П.В. Геотермические условия южной части Припятского прогиба // Докл. АН Беларуси. 1993. Т. 37, № 4. С. 109–113.
- ЗУЙ В.И. Температура квазинейтрального слоя и геотермические аномалии Оршанской впадины // Літасфера. 2004. № 1 (20). С. 156–159.

- ЗУЙ В. Тепловой поток и геотермические аномалии Оршанской впадины // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии: Матер. Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.В. Богомолова: В двух томах. 2005. Т. 1. С. 259–261.
- ЗУЙ В.И. Электромоделирование процессов теплового воздействия на нефтяной пласт. Мн.: Наука и техника, 1984. 144 с.
- ЗУЙ В.И., ВЕСЕЛКО А.В., КОЗЕЛ В.П., ПАРХОМОВ М.Д., ЖУК М.С. Тепловое поле // Глубинное строение и динамика земных недр территории Белоруссии / Под ред. Р.Г. Гарецкого, Ж.П. Хотько, Г.И. Карагаева и др. Мн., 1991. С. 91–118.
- ЗУЙ В.И., ЖУК М.С., КОЗЕЛ В.П. Каталог теплового потока Белоруссии // Сейсмологические и геотермические исследования на западе СССР. Мн., 1993. С. 220–229.
- ЗУЙ В.И., УРБАН Г.И., ВЕСЕЛКО А.В., ЖУК М.С. Геотермические исследования в Калининградской области и Литовской ССР // Сейсмологические и геотермические исследования в Белоруссии. Мн., 1985. С. 88–94.
- КАРТА крышталічнага фундаменту // Нацыянальны атлас Беларусі. Мн., 2002. С. 41.
- КОЗЕЛ В.П. Численная модель геотермической аномалии Припятского прогиба // Актуальные проблемы геофизики. М., 1989. С. 50–59.
- ЛОСЕВА Е., ЗУЙ В., АКСАМЕНТОВА Н. Радиогенная теплогенерация пород главных структурных зон и интрузивных массивов кристаллического фундамента Беларуси // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии: Матер. Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения академика Г.В. Богомолова. Минск, 1–3 июля 2005 г. Т. 1. Мн., 2005. С. 270–272.
- МАЙОРОВИЧ Я., ПЛЕВА С. Изучение теплового потока в Польше и решение тектонофизических задач // Тепловое поле Европы. М., 1982. С. 261–276.
- МОСКВИЧ В.А., ПАРХОМОВ М.Д., КОЗЕЛ В.П. Геотермическая аномалия зоны активного разлома // Активные разломы – методы их изучения, морфология, кинематика и геодинамическое значение. М.–Иркутск, 1989. С. 35.
- ПАЛЕОТЕКТОНИКА Белоруссии. Мн.: Наука и техника, 1983. 184 с.
- ПАРХОМОВ М.Д. Тепловой режим Припятского прогиба // Сейсмические и геофизические исследования в Белоруссии. Мн., 1985. С. 124–130.
- ПРОТАСЕНЯ Д.Г. Некоторые закономерности геотермики глубоких частей Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1962. Т. 6, № 1. С. 49–62.
- ПРОТАСЕНЯ Д.Г. О некоторых вопросах гидро- и термодинамики Припятского грабена // Материалы конференции молодых ученых АН БССР. Мн., 1962. С. 193–199.
- СМЫСЛОВ А.А., МОИСЕЕНКО У.И., ЧАДОВИЧ Г.З. Тепловой режим и радиоактивность Земли. Л., 1979. 191 с.
- СТАНКЕВИЧ Р.А. Артезианские воды Бреста и их использование. Мн., 2004. 184 с.
- ТЕКТОНИКА Белоруссии / Под ред. Р.Г. Гарецкого. Мн., 1976. 200 с.
- УРБАН Г.И., БЕЛЯШОВ А.В. Тепловой поток в районе Жлобинского и Уваровичского полей диаграм // Литосфера. 2003. № 2 (19). С. 95–102.
- УРБАН Г.И., ЦЫБУЛЯ Л.А. Тепловой поток Балтийской синеклизы. М.: ИФЗ РАН, 2004. 158 с.
- ХОДЫРЕВА Э.Я. Кондуктивные и конвективные тепловые потоки Припятского нефтегазосного бассейна // Экспресс-информация. Сер. Нефтегазовая геология и геофизика. Отечественный опыт. Вып. 7. М., 1987. С. 14–17.
- ЦЫБУЛЯ Л.А. Тепловой поток и геотермическое районирование западной части Восточно-Европейской платформы // Докл. АН БССР. 1984. Т. 28, № 2. С. 166–169.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., АНПИЛОГОВ А.П. К вопросу неоднородности теплового поля Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1977. Т. 21, № 4. С. 339–341.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЖУК М.С. Геотермическая характеристика осадочных отложений и тепловой поток в районе г. Минска // Докл. АН БССР. 1981. Т. 25, № 1. С. 66–68.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЖУК М.С., КОЗЕЛ В.П. Тепловой поток Полесской седловины и Микашевичско-Житковичского выступа // Белоруссия: проблемы региональной геологии. Мн., 1986. С. 167–172.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЖУК М.С. Тепловой поток Белорусской антеклизы // Докл. АН БССР. 1985. Т. 29, № 8. С. 731–734.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЛЕВАШКЕВИЧ В.Г. Тепловой поток в Припятском прогибе и причины его неоднородности // Геологический журнал. 1990. № 4. С. 19–26.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ЛЮСОВА Л.Н., СМИРНОВА Е.В. Тепловой поток в Припятском прогибе и Балтийской синеклизе (Калининградская область) // Методика и результаты геолого-геофизических нефтепоисковых исследований в Припятском прогибе. Мн., 1984. С. 102–180.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., ПАРХОМОВ М.Д., ЦАЛКО П.Б., ЖУК М.С., КОЗЕЛ В.П. Результаты геотермических исследований в скважине Остапковичи 123 Припятского прогиба // Сейсмологические и геотермические исследования в Белоруссии. Мн., 1985. С. 100–105.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., УРБАН Г.И., КОЗЕЛ В.П. Тепловой поток в Подляско-Брестской впадине и его геологическая интерпретация // Геологический журнал. 1988. № 5. С. 72–76.
- ЦЫБУЛЯ Л.А., УРБАН Г.И. Тепловой поток в Вольско-Оршанском прогибе // Докл. АН БССР. 1984. Т. 28, № 9. С. 843–846.
- BOGOMOLOV G.V., BOGOMOLOV Yu.G., ZUI V.I., TSYBULYA L.A. Geothermal Investigations on the Territory of Byelorussia // Geothermics and Geothermal Energy / Eds. V. Cermak and R. Haenel. Stuttgart, 1982. P. 101–105.
- HURTIG E. (Editor-in-chief). Geothermal Atlas of Europe. Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha. (Explanatory Note and 36 maps). 1991/1992.
- JESSOP A.M., HOBART M.A., SCLATER J.G. The World Heat Flow Data Collection - 1975. Geothermal Service

- of Canada. Geothermal Series 5. Ottawa, 1976.
- SAFANDA J., SZEWCZYK J., MAJOROWICZ J. Geothermal evidence of very low glacial temperatures on a rim of the Fennoscandian ice sheet // *Geophysical Research Letters*. 2004. Vol. 31. P. 1–4.
- SLIAUPA S., RASTENIENE V. Heat flow and heat production in the crystalline basement of Lithuania // *Geologija*. 2000. № 31. S. 24–34.
- ZHUK M.S., TSALKO P.B., ZUI V.I. Heat flow of the Pripyat Trough // *Літасфера*. 2004. № 1 (20). С. 122–130.
- ZUI V.I. Anomalies of the terrestrial temperature field of Belarus // *Lithosphere*. 2004. № 2 (21). P. 117–125.

Рецензент Г.И. Каратаев

Поступило 12.07.06

ЦЕПЛАВОЕ ПОЛЕ ГЕАЛАГІЧНЫХ СТРУКТУР БЕЛАРУСІ

В.И. Зуй, М.С. Жук

Артыкул прысвечаны вывучэнню цеплавога поля геалагічных структур Беларусі: Беларускай антэклізы, Падляска-Брэсцкай і Аршанскай упадзін, Прыпяцкага прагіну, беларускай часткі Лукаўска-Ратнаўскага горсту, Палескай, Латвійскай і Жлобінскай седлавін. Разгледжана размеркаванне тэмпературы на глыбіні 100 м. Выкананы новыя вызначэнні шчыльнасці цеплавога струменю на ўсіх структурах рэгіёну. У асобных выпадках перагледжаны надрукаваныя раней яго значэнні, ў якіх не ўлічвалася ўздзеянне прыпаверхневых фактараў на геатэрмічны градыент. Зменлівасць цеплавога струменю з глыбінёй адлюстравана яго некалькімі інтэрвальнымі значэннямі для большасці вывучаных свідравін. Разгледжана сувязь паміж распаўсюджваннем гранітоідаў і бластаміланітаў у верхняй частцы крышталічнага фундаменту і назіраемай шчыльнасцю цеплавога струменю. Абмеркавана сувязь паміж радыёгеннай цеплагенерацыяй, узнікаючай пры распадзе доўгажывучых ізатопаў урану, торыю і калію, са шчыльнасцю цеплавога струменю. У межах распаўсюджвання гранітоідаў, а ў многіх выпадках і бластаміланітаў, назіраецца прамая сувязь паміж цеплагенерацыяй і цеплавым струменем. Вызначаны фактары, якія ўплываюць на назіраемую шчыльнасць цеплавога струменю ў верхніх інтэрвалах разрэзу платформы чахла. Асноўнае значэнне тут мае фільтрацыя падземных вод, перш-наперш ў зоне актыўнага водаабмену.

GEOTHERMAL FIELD WITHIN GEOLOGICAL STRUCTURES OF BELARUS

V.I. Zui, M.S. Zhuk

The main features of the terrestrial temperature field within Belarus were revealed as a result of analysis of around 500 temperature-depth diagrams recorded in boreholes all over the whole region. The temperature distribution map at a depth of 100 m (was compiled). Numerous new temperature anomalies were outlined and described. Margins of some known anomalies were specified more precisely. New heat flow density (HFD) measurements were fulfilled for 80 boreholes including some of earlier published heat flow density values, which were recalculated and improved. Outside the Pripyat Trough, shallow boreholes prevail, their depths usually not exceeding 300–400 meters. It was observed that for many of them interval HFD values are dependent on the considered depth interval. In most cases HFD increases from shallow to deeper intervals. It is considered that the downward groundwater filtration is responsible for this effect. A revised heat flow density map reflects a contrast pattern of the heat flow distribution not only within such Paleozoic structures, as the Pripyat Trough and the Belarussian part of the Podlaska-Brest Depression, but also within the rest of Precambrian structures (Belarussian Antecline, Orsha Depression, Polessian and Zhlobin saddles, western slope of the Voronezh Antecline within the territory of Belarus). The more numerous anomalies of low temperature and heat flow are found in the East-Orsha, Central Belarussian regions and the eastern slope of the Belarussian Antecline. High temperature and heat flow anomalies were outlined and described Pripyat Trough, Podlaska-Brest, Grodno, Lyakhovichi-Novoyelnya, Vileika-Naroch, Belynichy-Rechitsa.

A correlation between the area distribution of granitoid and blastomylonite belts in the crystalline basement and heat flow density pattern was discussed. It was shown that this correspondence exists in some of areas (mostly within the western part of the Belarussian Antecline, at the same time it was not revealed in the Orsha Depression and the eastern part of the antecline).

The direct correlation between the radiogenic heat production and the observed HFD was described. Within Vygodsk, Mosty, Martsinkonis granite massifs with increased heat production this factor results in HFD as high as 50–55 mW/m². Within deeply eroded crustal blocks of the Belarussian Antecline HFD values are usually within 20–30 mW/m² only.

Salt tectonics developed within the Pripyat Trough results in a contrast distribution of temperature and heat flow fields in the vicinity of salt swells and domes. The observed heat flow values depend on the studied depth interval and geometry of salt bodies. High heat flow values correspond to the dome nuclei and cap rock deposits, where the density of concentrated heat flow is as high as 100–110 mW/m². The influence of hydrogeological conditions, salt tectonics and lithologic features of rocks comprising the platform cover create a complicated pattern of the heat flow distribution.