

### Библиографические ссылки

1. Дамиевич А. Ч. Возможности использования цифровой модели рельефа для изучения влияния морфометрических показателей на влажность почв // Земля Беларуси. 2017. № 1. С. 42–45.
2. Кесель Э. А., Губаревич Е. С., Мороз А. В. Морфометрический анализ цифровой модели рельефа Смолевичского района Минской области для целей землеустройства // Сб. науч. статей по материалам Международ. науч.-практ. конф. молодых учёных, аспирантов, студентов. Кинель: РИО СГСХА, 2018. С. 111–114.
3. Курлович Д. М. Морфометрический ГИС-анализ рельефа Беларуси // Земля Беларуси. 2013. № 4. С. 42–48.
4. Михайлов В. А. Комплексный морфометрический анализ Тарханкутского полуострова с помощью ГИС // Современные науч. исслед. и инновации. 2015. № 2. Ч. 4 [Электрон. ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/02/46640> (дата обращения: 16.02.2019).
5. Погорелов А. В., Думит Ж. А. Морфометрия рельефа бассейна реки Кубани: некоторые результаты цифрового моделирования // Географ. исслед. Краснодарского края. 2007. Вып. 2. С. 7–23.

УДК: 550.36

## ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКОГО ПОЛЯ ЗОНЫ АКТИВНОГО ВОДООБМЕНА

**В. И. Зуй, С. Мансури фар**

Белорусский государственный университет, факультет географии и геоинформатики,  
пр. Независимости 4, 220030 Минск, Республика Беларусь;  
zui@bsu.by; siamak\_mansourifar@yahoo.com

Территория Беларуси находится в пределах западной части Восточно-Европейской платформы докембрийского возраста. В южной части территории существует внутриплатформенный рифт – Припятский прогиб палеозойского возраста. Фундамент Белорусской антеклизы, занимающей центральное место в геологическом строении региона, перекрыт платформенным чехлом мощностью до 500 м, в пределах Центрально-Белорусского массива его мощность сокращается до 80–100 м. В наиболее опущенных блоках Припятского прогиба его мощность увеличивается до 5–6 км.

подавляющее большинство изученных в геотермическом отношении буровых скважин в регионе завершено в платформенном чехле. Лишь в некоторых из них геотермические измерения выполнены во вскрытых на небольшую глубину интервалах кристаллического фундамента.

Ещё в середине 1960–1970-х гг. полагали, что докембрийские платформы являются в целом «холодными» по сравнению с более молодыми блоками земной коры и характеризуются сравнительно однородным тепловым полем точки зрения распределения температуры на сопоставимых глубинах и плотности теплового потока.

Результаты первых геотермических исследований при изучении теплового поля в пределах блоков земной коры докембрийского возраста страны показали значительную контрастность параметров поля. Они были проведены в скважинах с восстановившимся тепловым полем после завершения их бурения [1, 2].

*Геотермическая изученность региона.* Как регистрация первых термограмм скважин, выполненных в конце 1960-х гг., так и определение плотности теплового потока в изученных интервалах глубины, выполненных с начала 1970-х гг., привели к заключению о значительной изменчивости в распределении температуры, интервальных значений геотермиче-

ского градиента и вычисленных значений плотности теплового потока не только по всей территории страны, но и в границах отдельных геологических структур – Белорусской антеклизы с её седловинами, Оршанской и Подляско-Брестской впадин. Значительный контраст в распределении температуры и оцененной плотности теплового потока (при использовании литературных данных по тепловому потоку) был отмечен в Припятском прогибе ещё в начале 1960-х гг. [7, 8]. В последующем, по мере проведения полевых работ многими геотермистами, накопления термограмм скважин и определения плотности теплового потока, был построен ряд геотермических карт распределения температуры, геотермического градиента и плотности теплового потока, а также – плотности извлекаемых ресурсов подземного тепла и околонуны ряд геотермических аномалий в пределах всей территории региона [3, 4]. Геотермическая изученность Беларуси приведена на рис. 1.

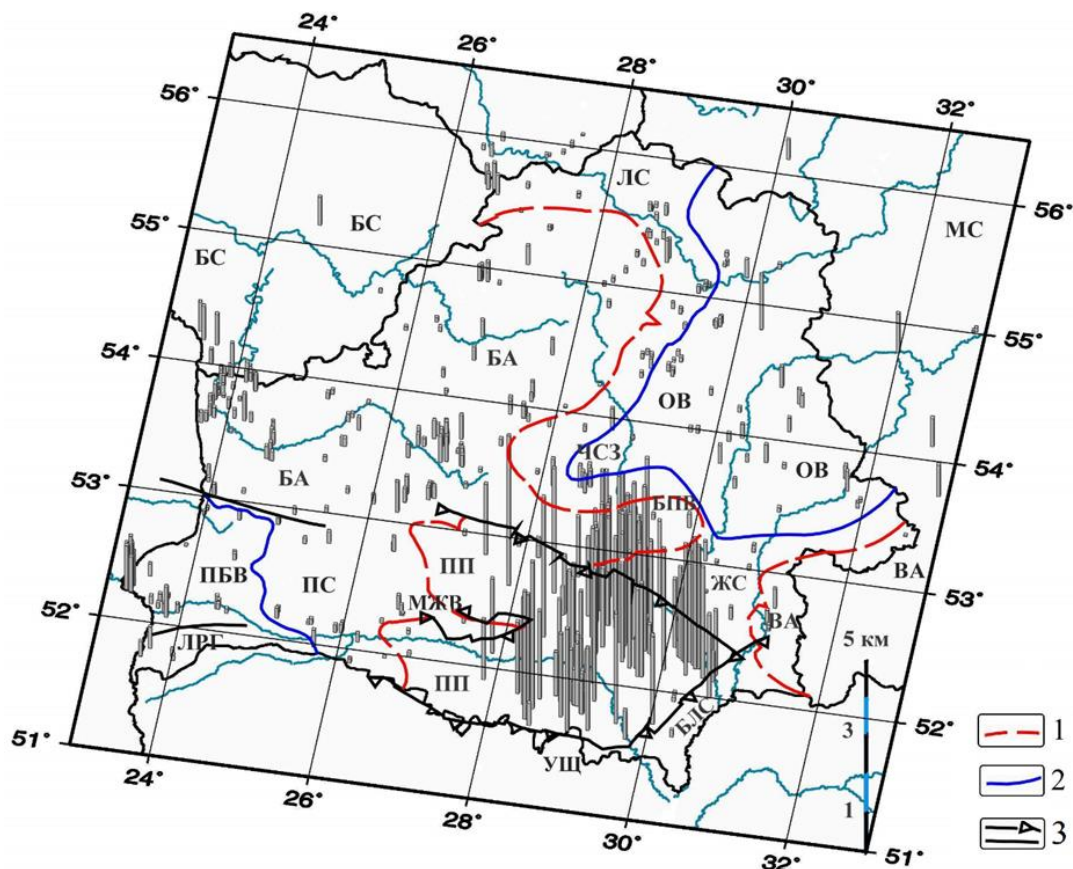


Рисунок 1 – Геотермическая изученность территории Беларуси [5]

1 - границы Белорусской антеклизы; 2 - границы Оршанской и Подляско-Брестской впадин; 3 – основные разломы; сокращения: БА – Белорусская антеклизы, БЛС – Брагинско-Лоевская седловина, БПВ – Бобруйский погребённый выступ, БС – Балтийская синеклизы, ВА – Воронежская антеклизы, ЖС – Жлобинская седловина, ЛРГ – Луковско-Ратновский горст, ЛС – Латвийская седловина, МЖВ – Микашевичско-Житковичский выступ, МС – Московская синеклизы, ОВ – Оршанская впадина, ПБВ – Подляско-Брестская впадина, ПС – Полеская седловина, ЧСЗ – Червенский структурный залив, УЩ – Украинский щит

Длины вертикальных полосок на рис. 1 показывают в масштабе, приведённом в правом нижнем углу карты, глубину, достигнутую электротермометром в каждой из изученных скважин. При этом наиболее глубокие изученные скважины расположены в Припятском прогибе. На остальной территории за его пределами, как правило, преобладают сравнительно неглубокие скважины, завершённые бурением в зоне активного водообмена (в зоне распространения пресных вод). В связи с этим геотермическое поле платформенного чехла по

всей территории страны может быть более полно охарактеризовано для глубин в первые сотни метров. По имеющейся изученности составлена серия карт, вошедших в Геотермический атлас Беларуси [3].

Регулярные геотермические исследования в республике проводились с конца 1960-х – начала 1970-х гг., однако до настоящего времени практически слабо изучены глубокие горизонты белорусской части Подляско-Брестской и Оршанской впадин. Плохо изучены территории вдоль границ с Литвой, Латвией, Россией. После аварии на Чернобыльской АЭС также не ведётся бурение скважин и изучение теплового поля в полосе отселения вдоль украинской границы, что отражается на надёжности картирования этих территорий. Отмеченное касается и западной части Припятского прогиба.

*Геотермические измерения в зоне активного водообмена в платформенном чехле.* Наибольшее количество изученных скважин имеется для глубины 100-200 м.

Для построения карты распределения температуры на глубине 100 м были использованы результаты надёжных измерений температуры в скважинах, заведомо достигших теплового равновесия после завершения бурения. Из имеющихся производственных термограмм использованы только единичные более надёжные данные по скважинам, пробуренным в районах, где отсутствуют другие измерения. Эта глубина целиком относится к зоне пресных вод (зона интенсивного водообмена), где влияние фильтрации подземных вод отражается на форме термограмм. Их глубина часто не превышает 150-250 м. Здесь имеет место влияние конвективной составляющей теплопереноса. Покажем это на примере термограмм отдельных скважин северо-восточной Беларуси, рис. 2.

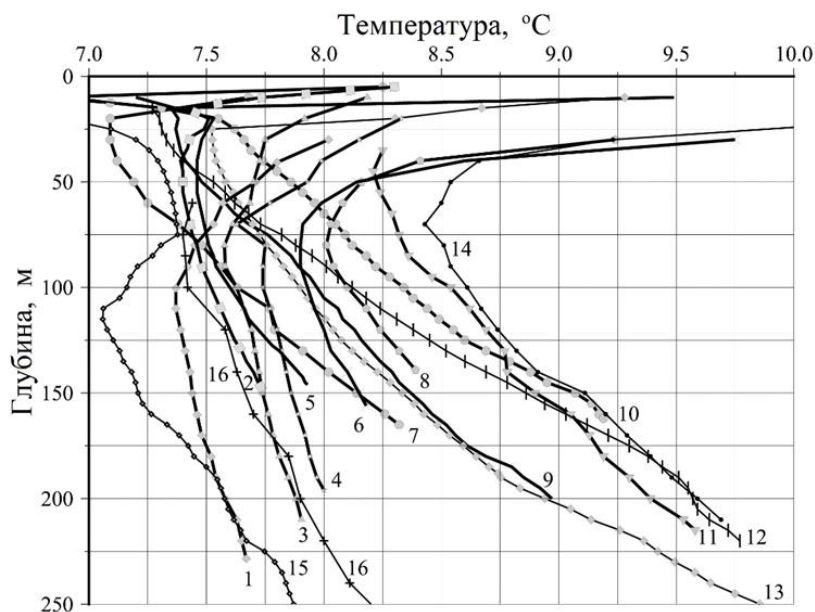


Рисунок 2 - Вид термограмм скважин в северо-восточной части Беларуси

1 – Козловка-37чш; 2 – Косари-25лп; 3 – Сенно-36чш; 4 – Козловка-34чш; 5 – Судиловичи-20лп; 6 – Ушачи-9лп; 7 – Ксты-5пл; 8 – Заборье-22тл; 9 – Комоски-25чш; 10 – Браздецкая Слобода-51чш; 11 – Синиченка-37тл; 12 – Заскорки-2пл; 13 – Самоседовка-36тл; 14 – Полоцк-49пл; 15 – Суражская-1с2; 16 – Смоленск-1

Большинство термограмм характеризуются вогнутой формой, типичной для условий нисходящего движения (инфильтрации) атмосферных вод в рыхлые отложения, охлаждающих верхнюю часть платформенного чехла. Обратная ситуация –

восходящее движение подземных вод приводит к «подогреву» термограммы в зоне активного водообмена. Оно обусловлено разгрузкой подземных вод в долины рек, котловины озер, либо по разломам, проникающим в платформенный чехол. Мы не рассматриваем здесь влияние соляных валов и куполов, в ряде случаев неглубоко залегающих под земной поверхностью. Примером влияния восходящей фильтрации может служить термограммы скв. Ливье 82 и 107 (западная Беларусь), рис. 3.

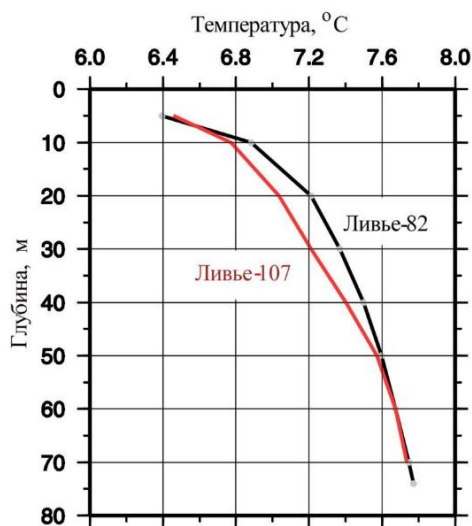


Рисунок 3 - Пример термограмм скв. Ливье-82 и Ливье-107 (Белорусская антеклиз)

Эти термограммы иллюстрируют влияние восходящей фильтрации подземных вод в зоне их разгрузки, они имеют выпуклую форму к оси глубины. Чаще всего такую форму термограммы имеют в долинах рек, озёр, каналов. Очевидно, такие термограммы малопригодны для вычисления неискаженного приповерхностными факторами теплового потока при построении геотермических карт

В большинстве случаев такие термограммы, зарегистрированные в зоне активного водообмена на картируемой глубине 100–200 м отражают влияние конвекции, что и вызывает их вогнутую, либо выпуклую форму. При этом при их вынесении на карту возникают «аномалии», не имеющие однозначного геологического объяснения.

Рассмотрим выявленные геотермические аномалии на карте распределения температуры для глубины 100 м, рис. 4.

При проведении изотерм использован интервал 0,5 °C, его можно считать обоснованным имея в виду, что абсолютная погрешность скважинных электротермометров составляла не более чем  $\pm 0,03-0,05$  °C, а сами скважины имели продолжительную выстойку перед регистрацией термограмм. Положение исследованных скважин показано на карте кружками. В отдельных случаях при их близком расположении, в том числе и в «кустах» гидрогеологических наблюдательных скважин, они сливаются в одну точку в выбранном масштабе карты. Распределение изученных скважин в регионе неравномерное. В рамках карты слабо изученными остаются районы, прилегающие к Балтийской и Московской синеклизам, а также Латвийская седловина, Украинский щит, западный склон Воронежской антеклизы.

Температура на глубине 100 м изменяется в регионе от 7 до 11,5 °C, разница между крайними значениями достигает 4,5 °C. Значения температуры более 8 °C ха-



рактены для северной зоны Припятского прогиба и Подляско-Брестской впадины, где существуют положительные геотермические аномалии. Изотерма  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  выходит за Северо-Припятский бортовой разлом и прослеживается в пределах Северо-Припятского плеча, Жлобинской седловины и западного склона Воронежской антеклизы.

Температурное поле на глубине 100 м имеет контрастный вид. Отчётливо прослеживаются региональные и локальные аномалии.

Кратко остановимся на рассмотрении наиболее обширной аномалии низких значений температуры. В восточной части Оршанской впадины в треугольнике между гг. Орша – Смоленск – Чериков выделена обширная Восточно-Оршанская аномалия низких значений температуры  $6,5\text{--}7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  [4].

Аномалия включает почти всю Могилёвскую мульду. Здесь же выделена полоса повышенных значений температуры субмеридионального направления. Она прослеживается в западной части Оршанской впадины и восточном склоне Белорусской антеклизы по линии Речица–Светлогорск–Кличев–Белыничи–Березино–Борисов–Лепель–Чашники–Езерище и уходит за пределы Беларуси. Она названа Западно-Оршанской аномалией повышенных значений температуры. В северной своей части эта аномалия разветвляется в южном направлении от п. г. т. Езерище через г. Витебск и достигает широты г. Орши. Северное окончание аномалии в районе п. г. т. Езерище выделяется неуверенно из-за нехватки данных. На белорусской стороне севернее г. Витебска здесь изучены лишь 2 скважины (Руба и Суражская-1s2). Значения температуры в пределах Западно-Оршанской аномалии изменяются от  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  в её центральной части до  $10,0\text{--}11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  в северной зоне Припятского прогиба. Рассмотрение аналогичных карт для глубины 200–500 м показывает, что площадь, занимаемая аномалией, уменьшается.

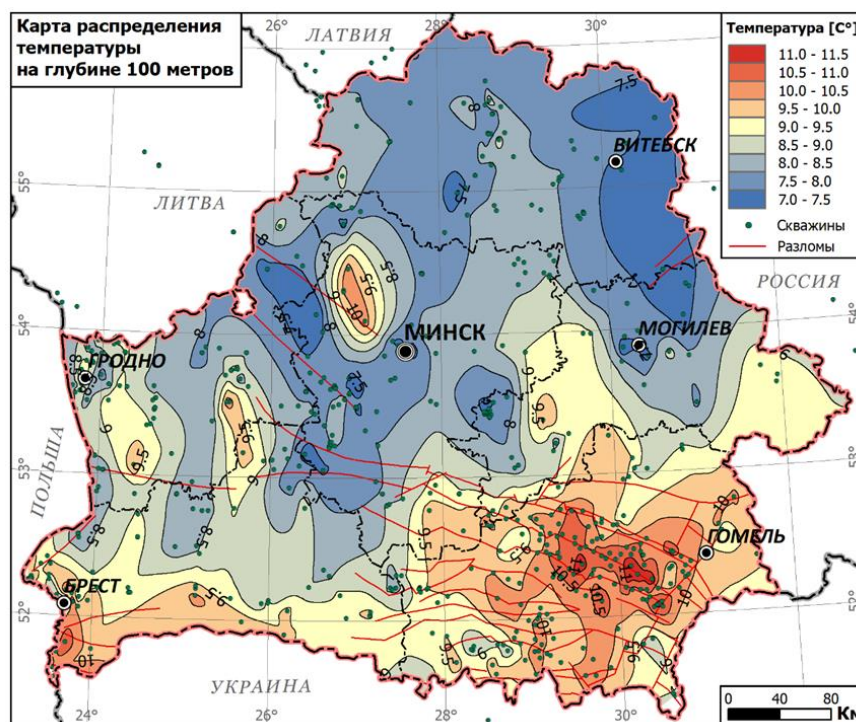


Рисунок 4 - Карта распределения температуры в Беларуси на глубине 100 м [3]

*Интервальные значения плотности теплового потока.* В качестве примера покажем, какие значения можно получить при использовании термограмм скважин из зоны активного водообмена. Рыхлые породы четвертичного возраста (пески, супеси, маломощные прослойки суглинка и др.) с обилием гидрогеологических окон залегают в регионе на отложениях девона. Нисходящие подземные воды, вызванные затяжными осенними дождями и весенним таянием снега, охлаждают верхнюю часть разреза и приводят к более глубокому залеганию «нейтрального слоя», низким значениям геотермического градиента и плотности теплового потока, рис. 5 [6].

Скважина и ее номер	Глубина до н.с., м	Тепловой поток, мВт/м <sup>2</sup>
Браздецкая Слобода 51чш	10	23
Заскорки 2пл	15	30
Комоски 25чш	15	19
Ксты 5пл	25	18
Самоседовка 36тл	25	31
Смоленск 1	35	14
Косари 25лп	40	6
Синиченка 37тл	45	22
Судиловичи 20лп	50	10
Орша 2оп	50	17
Полоцк 49пл	70	22
Козловка 34чш	70	6
Козловка 42чш	70	6
Заборье 22тл	80	14
Ушачи 9лп	85	5
Козловка 37чш	105	3
Сенно 36чш	120	4

Рисунок 5 - Зависимость плотности теплового потока в зоне активного водообмена от глубины залегания «нейтрального слоя»

Площадное распределение рассматриваемых скважин приведено на рис. 6. Масштаб плотности теплового потока (HFD) показан в левом нижнем углу карты. Нереально низкие значения потока относятся к мелким скв. № 1, 4, 5, 7 (см. рис. 2). Однако их интервальные значения в зоне активного водообмена остаются низкими (менее 20 мВт/м<sup>2</sup>) и для более глубоких скв. Смоленск-1, Орша-2оп, Суражская-1с2.

*Выводы.* В работе рассмотрены особенности изучения распределения температуры и теплового потока для скважин, завершённых бурением в зоне распространения пресных вод. Почти все они, за исключением скв. Смоленск-1, Суражская-1с2 и Орша-2оп, завершены бурением в зоне распространения пресных вод. В этом интервале глубины типичны низкие значения как температуры, так и интервальных значений плотности теплового потока - 4-20 мВт/м<sup>2</sup> и лишь изредка - 25-30 мВт/м<sup>2</sup>. При этом, выделяется ряд геотермических аномалий, не вызванных глубинным строением платформенного чехла и кристаллического фундамента, а циркуляцией подземных вод. Последнее обстоятельство требует тщательного отбора полученных данных при их вынесении на карту теплового потока.

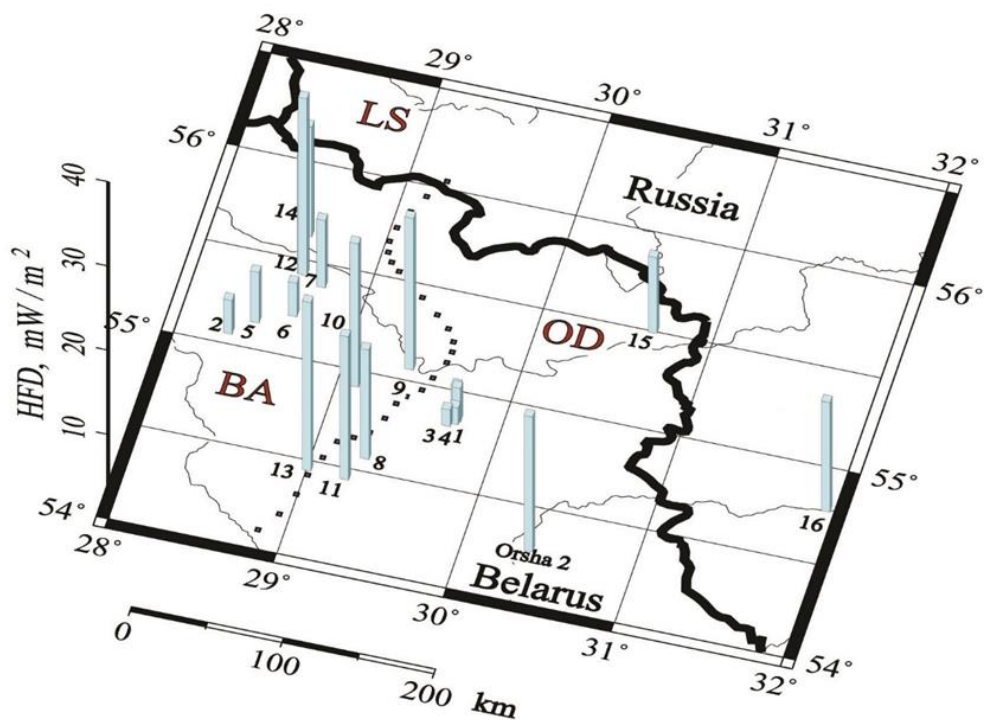


Рисунок 6 - Распределение изученных по тепловому потоку скважин в регионе  
 LS – Латвийская седловина; BA – Белорусская антеклиз; OD – Оршанская впадина.  
 Номера изученных скважин – см. рис. 2

### Библиографические ссылки

1. Богомолов Ю. Г. Данные о тепловом режиме земной коры юго-запада СССР // Докл. АН БССР. 1970. Т. 14, № 1. С. 57–60.
2. Богомолов Г. В., Цыбуля Л. А., Атрощенко П. П. Геотермическая зональность территории БССР. Минск: Наука и техника, 1972. 216 с.
3. Геотермический Атлас Беларуси / Под ред. В. И. Зуя. Минск: Нац. б-ка Беларуси. 2018. 91 с.
4. Зуй В. И. Тепловое поле платформенного чехла Беларуси. Минск: Издат. центр УП «Экономпресс», 2013. 256 с.
5. Зуй В. И. Основы геотермии. Минск: БГУ, 2017. 287 с.
6. Зуй В. И. Тепловой поток в зоне активного водообмена на северо-востоке Беларуси // Проблемы геологии Беларуси и смежных территорий: Материалы Международ. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. акад. НАН Беларуси А. С. Махнач. Минск, 21–22 нояб. 2018 г. Минск: СтройМедиа Проект, 2018. С. 49–53.
7. Протасеня Д. Г. О некоторых вопросах гидро- и термодинамики Припятского grabena // Материалы конф. молодых учёных АН БССР. Минск, 1962. С. 193–199.
8. Протасеня Д. Г. Некоторые закономерности геотермики глубоких частей Припятского прогиба // Докл. АН БССР. 1962. Т. 6, № 1. С. 49–52.