

КОМПЛЕКСНЫЙ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ ГЛУССКОГО РАЙОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГИС

Т. Н. Мыслыва, А. В. Мороз, Э. А. Кесель

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, землеустроительный факультет, ул. Мичурина 5, 213407 Горки, Республика Беларусь; byrty41@yahoo.com

Для повышения эффективности использования земельных ресурсов и выполнения землеустроительных работ целесообразно применять функциональные возможности современных геоинформационных технологий. В частности, используя информацию о результатах дистанционного зондирования Земли, находящуюся в свободном доступе в открытых источниках, и выполнив её преобразование в ГИС-среде, можно получить объективные и актуальные данные о состоянии той или иной территории, не прибегая к выполнению дорогостоящих наземных изысканий [2]. К такой информации относятся в частности цифровые модели рельефа, полученные по данным радарной топографической съёмки.

Кроме того, рельеф является одним из ведущих факторов формирования ландшафтов и важнейшей составляющей почвообразования, оказывая наибольшее влияние на локальное разнообразие почвенного покрова, а изучение его структурно-геоморфологических особенностей – неотъемлемая часть региональных исследований при агроэкологической оценке земель [1]. Одной из основ изучения рельефа любой территории считается морфометрический анализ, обеспечивающий более объективную и комплексную его оценку, и являющийся исключительно важным при комплексном изучении и картографировании эрозионных процессов, почвенного покрова, растительности, прогнозировании и ландшафтном планировании [4].

Цель исследований: 1) определение основных морфометрических характеристик рельефа и выполнение комплексного морфометрического анализа территории Глусского р-на Могилёвской обл. Республики Беларусь (далее ГР); 2) создание модели для автоматизации процесса определения морфометрических характеристик и выполнения морфометрического анализа рельефа с использованием функциональных возможностей приложения Model Builder ГИС ArcGIS версии 10.2.

Для построения производных цифровой модели рельефа использовались данные Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) – радарной топографической съёмки поверхности земного шара, произведенной в феврале 2000 г. с помощью специальной радарной системы методом радарной интерферометрии с борта американского челнока Shuttle [5]. Математической основой данных является референц-эллипсоид WGS84 и проекция GCS_WGS_1984, а их пространственное разрешение составляет 3 угловые секунды (90 м). Данные SRTM генерализированы с разрешением 30 угловых секунд и имеют вид квадрата 5×5 градусов. Абсолютная ошибка геолокации 90 %-ной обеспеченности составляет 8,8 м, абсолютная погрешность определения высоты – 6,2 м, относительная ошибка высоты – 2,6 м.

При выполнении исследований были использованы функции ГИС ArcGIS по гидрологическому моделированию и построению корректных топографических поверхностей, учитывающие морфометрические особенности изучаемой территории. Однако, поскольку данные функции работают с растровым типом данных, методика

построения и интерпретация морфометрических карт принципиально отличается от традиционной, на что, в частности, указывается и в работе [5].

На рис. 2 представлена гипсографическая кривая территории ГР: средняя высота равна 158,5 м, среднее квадратическое отклонение – 19,5 м.

Для моделирования эрозионной сети, определения порядка тальвегов по методике Стралера-Философова и построения соответствующего картографического изображения входной грид рельефа обрабатывался с применением функционала набора инструментов «Гидрология» гидрологическими функциями «Заполнение», «Направление стока», «Суммарный сток», «Идентификация водотоков», «Порядок водотоков» (рис. 3).

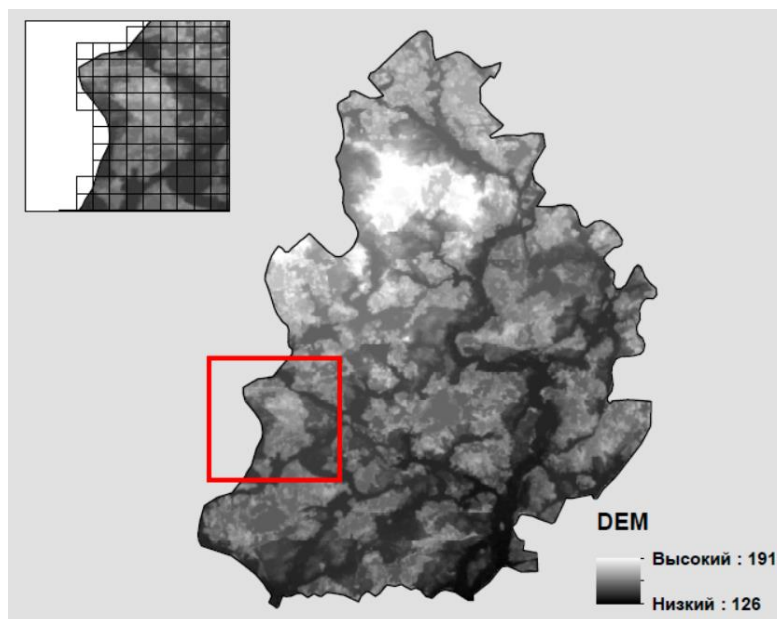


Рисунок 1 – Цифровая модель рельефа (DEM) территории ГР
На врезке показан фрагмент с разбивкой на учётные квадраты со стороной 1 км.

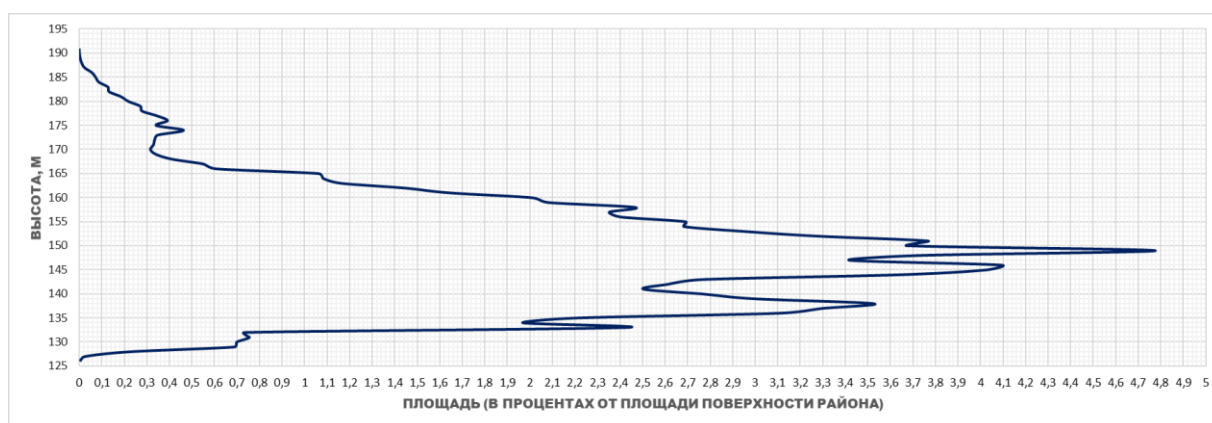


Рисунок 2 – Гипсографическая кривая территории ГР по данным ЦМР



Рисунок – 3. Эрозионная сеть территории ГР

На последнем этапе моделирования выполнялось конвертирование растровой модели эрозионной сети в векторную. Это дало возможность произвести расчёты суммарной длины эрозионной сети (табл. 1) и получить исходные данные для построения карты густоты горизонтального расчленения рельефа исследуемой территории.

Установлено, что общая длина тальвегов 1–5-го порядков на территории ГР достигает 1 039,9 км; при этом на тальвеги 1-го порядка приходится 52,2 % суммарной длины, а на суммарную длину тальвегов 1–2 порядков – 80 % общей длины. Средняя длина тальвегов колеблется в пределах от 0,46 до 0,69 км. Распределение длин разнорядковых тальвегов подчиняется обратному экспоненциальному закону (рис. 4).

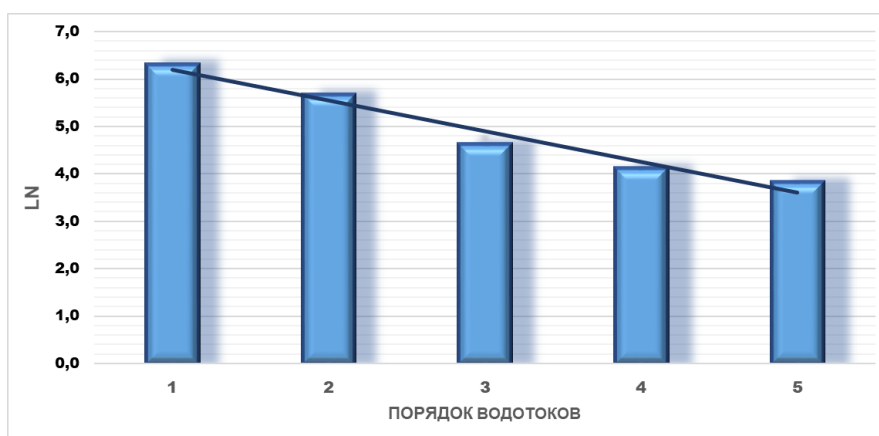
Густоту горизонтального расчленения рельефа оценивали по показателю длины тальвегов (водотоков) эрозионных форм на единицу площади, км/км² [3].

Для выполнения автоматизированного расчёта величины показателя горизонтального расчленения рельефа ГР была разработана геоинформационная модель, в которой реализован функционал наборов инструментов «Анализ», «Инструменты пространственного анализа» и «Управление данными». Исходными слоями в модели выступали SRTM, шейп-файл с административной границей района, а также векторный полигональный слой, представляющий собой сеть квадратов размером 1 × 1 км и покрывающий всю территорию исследований (всего 1 472 квадрата). Полученный в результате применения модели точечный слой преобразовывался в грид-модель через интерполяцию по методу обратных взвешенных расстояний (IDW), радиальных базисных функций (RBF) и эмпирического байесовского кригинга (ЕБК) (рис. 5–7).

Таблица 1 – Характеристика эрозионной сети ГР

Порядок тальвега	Количество тальвегов, шт	Длина тальвегов, км				% от общей длины	LN*
		общая	минимальная	максимальная	средняя		
1	839	542,7	0,055	6,1	0,65	52,2	6,3
2	467	289,1	0,078	3,3	0,62	27,8	5,7
3	217	100,8	0,078	2,9	0,46	9,7	4,6
4	119	61,4	0,078	2,8	0,52	5,9	4,1
5	67	45,9	0,078	2,8	0,69	4,4	3,8

Примечание: *LN – прологарифмированные значения общей длины тальвегов.



Риунок 4 – Распределение общей длины водотоков разных порядков в пределах территории ГР

При применении интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний получена поверхность, редуцированная на 6 классов с интервалом $0,5 \text{ км/км}^2$, минимальная величина горизонтального расчленения рельефа которой составляет $1,11 \text{ км/км}^2$, а максимальная – $3,98 \text{ км/км}^2$ (табл. 2). Следует отметить, что метод интерполяции IDW целесообразнее всего применять при условии наличия достаточно плотного набора точечных значений. Применение интерполяции по методу радиальных базисных функций позволило получить поверхность, редуцированную на 7 классов с колебанием величины горизонтального расчленения от $1,44$ до $4,0 \text{ км/км}^2$ (табл. 2).

При интерполяции по методу эмпирического байесовского кригинга, который в отличие от двух предыдущих методов является не детерминированным, а геостатистическим, то есть использующим для построения поверхности статистические свойства измеренных значений, получена поверхность, редуцированная на 4 класса, минимальная величина горизонтального расчленения рельефа которой составляет $1,93 \text{ км/км}^2$, а максимальная – $3,40 \text{ км/км}^2$ (табл. 2). Среднее значение интенсивности горизонтального расчленения рельефа в зависимости от примененного метода интерполяции колебалось в пределах от $2,55$ до $2,63 \text{ км/км}^2$.

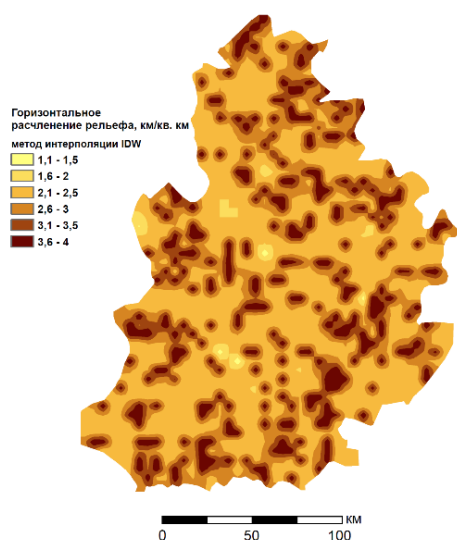


Рисунок 5 – Горизонтальное расчленение рельефа (интерполяция по методу IDW)

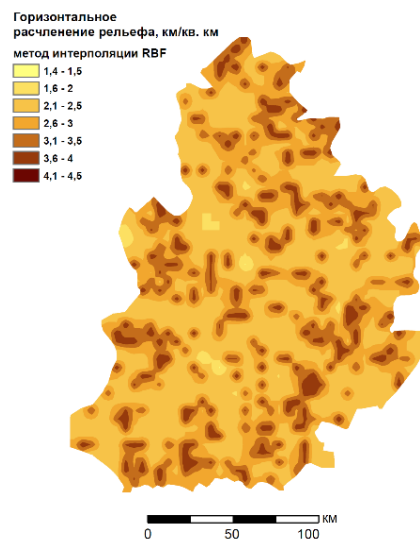


Рисунок 6 – Горизонтальное расчленение рельефа (интерполяция по методу RBF)

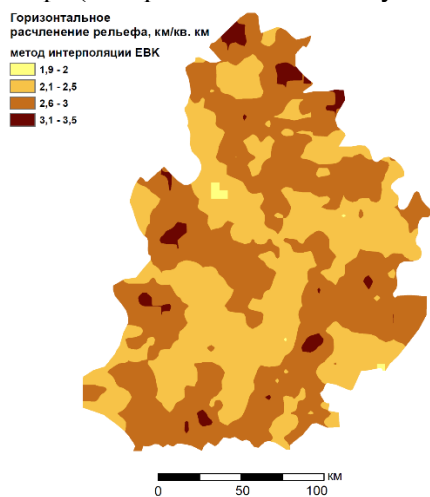


Рисунок 7 – Горизонтальное расчленение рельефа (интерполяция по методу EBK)

Таблица 2 – Статистические параметры интенсивности горизонтального расчленения рельефа на территории ГР

Характеристика	Метод интерполяции		
	IDW	RBF	EBK
Минимальное значение	1,11	1,44	1,93
Максимальное значение	3,98	4,00	3,40
Среднее значение	2,61	2,63	2,55
Среднеквадратическое отклонение	0,59	0,51	0,27

По результатам выполнения кросс-валидации в качестве лучшего метода интерполяции определен метод радиальных базисных функций (функция ядра – полностью регуляризованный сплайн) (табл. 3).

Таблица 3 – Результаты кросс-валидации грид-моделей моделей, созданных с помощью различных методов интерполяции

Название метода	Средняя ошибка интерполяции, ME	Среднеквадратичная ошибка интерполяции, RMSE
Метод обратных взвешенных расстояний, IDW	0,0300	1,020
Метод радиальных базисных функций, RBF	-0,0071	0,988
Метод эмпирического байесовского кригинга, EBK	-0,0031	0,913

Несмотря на то, что значения статистических параметров интенсивности горизонтального расчленения рельефа, полученные в результате применения как интерполяции по методу обратных взвешенных расстояний, так и интерполяции по методу радиальных базисных функций довольно близки, более точным является метод RBF. Данный метод представляет собой жесткий интерполятор, который создает сглаженные поверхности и даёт хорошие результаты при создании поверхностей из плавно меняющихся значений. В отличие от IDW, сплайн-интерполяция по методу RBF может давать значения выше максимальных и ниже минимальных измеренных значений. О целесообразности его использования при создании поверхностей в процессе моделирования густоты расчленения рельефа указывается и в работе [5].

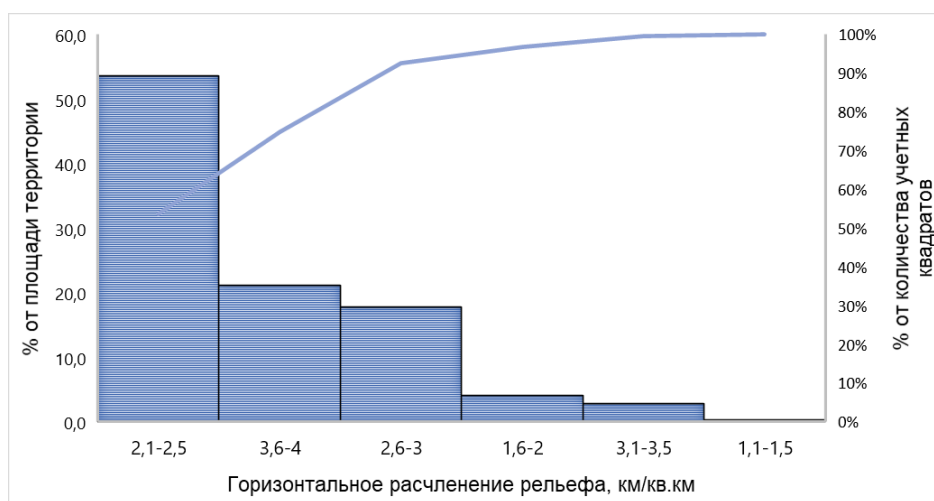


Рисунок 8 – Распределение территории ГР по показателю горизонтального расчленения рельефа (интерполяция по методу IDW)

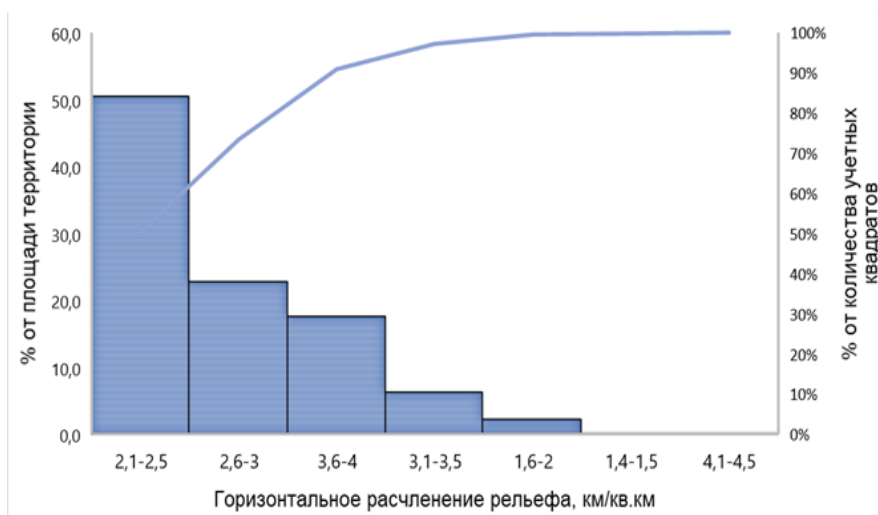


Рисунок 9 – Распределение территории ГР по показателю горизонтального расчленения рельефа (интерполяция по методу RBF)

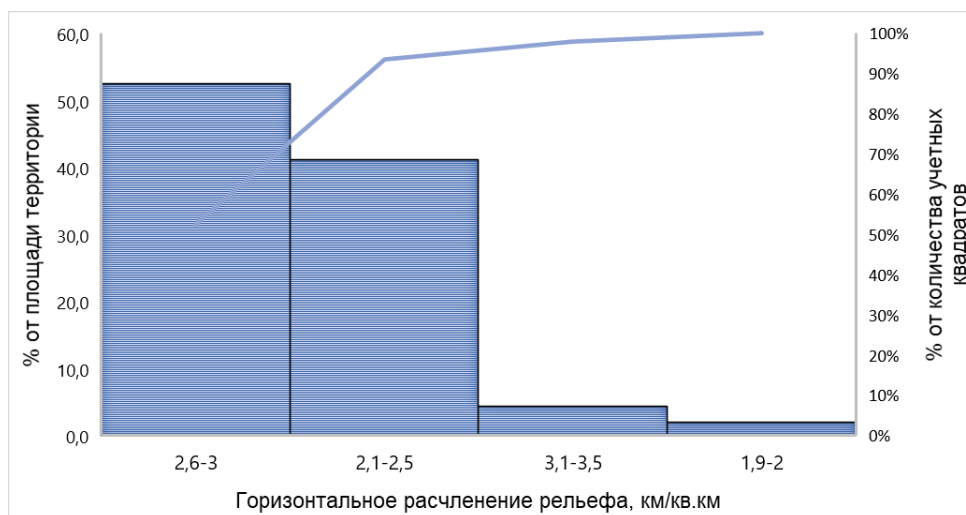


Рисунок 10 – Распределение территории ГР по показателю горизонтального расчленения рельефа (интерполяция по методу ЕВК)

Наибольшую повторяемость в пределах исследуемой территории имеет горизонтальное расчленение рельефа в интервале 2,1–2,5 км/км² (для поверхностей, полученных интерполяцией по методу IDW и RBF), суммарно занимая более 50 % площади ГР (рис. 8–10). Участки как с высоким горизонтальным расчленением, превышающим 3,5 км/км², так и с низким уровнем указанного показателя (1,1–1,5 км/км²), имеют довольно скромную представительность – менее 0,5 % территории.

Основным результатом выполненных исследований стало то, что впервые для территории ГР по данным гидрологически корректной цифровой модели рельефа (DEM) выполнен комплекс картометрических и морфометрических расчётов, а также то, что на базе ГИС с использованием автоматизированных процедур построены карты эрозионной сети из элементов 1–5 порядков и густоты горизонтального расчленения рельефа.

Однако следует особо отметить тот факт, что специалистами Государственного предприятия «Белгеодезия» аналитическим способом было проведено сравнение высот облака точек, полученных из матрицы SRTM, с имеющимися в наличии Госкарт-геоцентра ЦМР, извлеченными из топографических карт формата SXF масштабов 1 : 10 000 и 1 : 50 000 и представленными в виде горизонталей. Сравнение высот двух моделей было осуществлено 2-мя методами: 1) соотносением конкретной точки матрицы SRTM с двумя горизонталями, между которыми она находится, с определением высоты точки по горизонталям по равномерному закону распределения; 2) соотносением горизонталей топографических карт с горизонталями, полученными на основе SRTM. Установлено, что использование модели SRTM, генерализированной с разрешением 30 угловых секунд без введения поправок, имеющих закономерный характер, для картографирования в масштабах 1 : 50 000 и крупнее не является возможным, однако для отображения рельефа, его основных структурных сегментов (ложбины, хребты, возвышенности, низменности) без вычленения отметок высот данная модель подходит наилучшим образом. На соответствие точности матрицы высот SRTM масштабу 1 : 100 000 указывается и в работе [3].

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-