



<https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-4-0456>

## SPATIAL TYPIFICATION OF RIVER BASIN GEOSYSTEMS IN THE KAMA RIVER CATCHMENT AREA IN RELATION TO THE REGIONAL TECTONIC STRUCTURES

T. A. Trifonova<sup>1,2</sup>, P. S. Shutov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir State University, Vladimir, Russia*

**Abstract:** This study was aimed to reveal relationships between the formation of the structures of river systems and to discover the tectonic structural features of the territory. We analyzed the morphometric parameters of river catchment areas of various orders, which comprise the Kama river basin. A digital terrain model in ESRI ArcGis 10.4 geoinformation system was used. Within the identified river basin geosystems, quantitative morphometric characteristics of the terrain were calculated for comparative analysis. Multidimensional statistical analysis methods were used to group the basins with respect to their sets of geometric and morphometric characteristics. A spatial typification technique was developed to distinguish the basin geosystems by their morphometric indicators. This study pioneered in using the results of cluster analysis for identification of seven groups of basins, which reflect the spatial heterogeneity of the ancient tectonic elements and the geomorphological conditions within the entire territory of the Kama river basin. It is established that the types of the river basin geosystems with characteristic morphometric features are related to various ancient tectonic structures, which suggests a genetic relationship of endogenous processes of river channel fracturing and the diversity of geometric parameters of different river basins.

**Key words:** Kama river basin; geosystem; ancient tectonics; digital terrain model; river catchment; morphometric analysis of the terrain; principal component method; cluster analysis; spatial typification

---

### RESEARCH ARTICLE

**Received:** July 29, 2018

**Revised:** April 10, 2019

**Accepted:** May 23, 2019

**For citation:** Trifonova T.A., Shutov P.S., 2019. Spatial typification of river basin geosystems in the Kama river catchment area in relation to the regional tectonic structures. *Geodynamics & Tectonophysics* 10 (4), 1029–1044. doi:10.5800/GT-2019-10-4-0456.

**Funding:** This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects No. 19-05-00363, 17-05-41-034\_Russian Geographical Society).

# ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ТИПИЗАЦИЯ ГЕОСИСТЕМ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ ВОДОСБОРА РЕКИ КАМЫ В СВЯЗИ С ОСОБЕННОСТЯМИ ТЕКТОНИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Т. А. Трифонова<sup>1,2</sup>, П. С. Шутов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия

**Аннотация:** С целью выявления взаимосвязей между формированием структур речных систем и особенностями тектонического строения территории были проанализированы морфометрические параметры водосборов рек различных порядков, образующих Камский речной бассейн. На основе цифровой модели рельефа в программной среде геоинформационной системы ESRI ArcGis 10.4 проведено ранжирование территории бассейна. Определены и рассчитаны количественные морфометрические характеристики рельефа в пределах выделенных геосистем речных бассейнов, и проведен их сравнительный анализ. С использованием многомерных статистических методов анализа проведена группировка бассейнов по совокупности ряда геометрических и морфометрических характеристик. Разработана методика пространственной типизации бассейновых геосистем по морфометрическим показателям. Впервые по результатам кластерного анализа идентифицированы семь групп бассейнов, отражающих пространственную неоднородность древнейших тектонических элементов, а также геоморфологических условий в пределах всей территории бассейна реки Камы. Установлена принадлежность типов геосистем речных бассейнов с характерными морфометрическими признаками к различным древнейшим тектоническим структурам, что свидетельствует в пользу генетической взаимосвязи эндогенных процессов руслового трещинообразования и разнообразия геометрических параметров различных бассейнов.

**Ключевые слова:** бассейн реки Камы; геосистема; древняя тектоника; цифровая модель рельефа; водосборный бассейн; морфометрический анализ рельефа; метод главных компонент; кластерный анализ; пространственная типизация

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Типизация геосистем речных бассейнов, выполненная с учетом морфологии рельефа, может служить для различных целей: оценки эрозионной опасности [Smirnova et al., 2015], агроэкологического [Krupkin, 2007; Dunaeva, Kovalenko, 2013], гидрологического [Gubareva, 2012], геоэкологического районирования [Mineev et al., 2017] и др.

По мнению ряда исследователей, выделение однородных гидрологических районов продиктовано необходимостью не только оценки условий неизученных бассейнов по аналогии с изученными, что особенно актуально в условиях недостаточно плотной сети наблюдений, но и выявления фундаментальных географических закономерностей строения и функционирования речных систем [Gubareva, 2012]. Объединение бассейнов-аналогов в группы, сходные по динамике развития, обуславливает необходимость выделения из общего количества репрезентативных объектов, которые могут служить для более детального исследования природно-антропогенных динамических процессов и дальней-

шего экологического мониторинга [Trifonova et al., 2009]. При этом рельеф, несомненно, является одним из главных факторов функционирования геосистем, что определяет формирование поверхностного стока и всего спектра склоновых процессов [Rulev, Yuferov, 2016; Maltsev, Sharifullin, 2017].

К вопросу соотношения тектонических и гидрологических процессов не раз обращались исследователи [Sladkopevtsev, 1973; Gartsman, Galanin, 2011; Mahmood, Gloaguen, 2012]. Как правило, констатировалась приуроченность некоторых речных русел, особенно крупных рек, к тектоническим разломам, и эта позиция не вызывала особых сомнений. Что касается водосборных бассейнов, в основе образования которых лежит система водотоков, приуроченных к одной реке, то здесь в отношении механизма образования бассейнов мнения разделились. Так, в настоящее время наиболее популярной является схема порядков водотоков, разработанная трудами А. Страллера и Р. Хортон, согласно которой речная система образуется путем слияния потоков разных порядков – от мельчайших до самых крупных. Были разработаны и другие схемы клас-

сификации порядков водотоков, согласно которым выделяется «главная река». Следует отметить, что все эти схемы базируются на одной концепции: речные русла – суть эрозионных процессов, а значит, за начальный процесс руслообразования принимается образование промоин на поверхности земли.

Однако, на наш взгляд, вопрос о механизме руслообразования не закрыт, поскольку в принятой трактовке не соблюдаются необходимые условия для самоорганизации такой геосистемы, как речной водосборный бассейн [Trifonova, 2008]. Нами предложена оригинальная энергетическая модель формирования такого бассейна [Trifonova, 1994]. Модель базируется на представлении о том, что образование литоводосборного бассейна обусловлено развитием взаимосвязанных процессов разрушения горного массива тектоническими трещинами, растущими «снизу вверх», которые формируют таким образом матрицу русловой стоковой системы. В свою очередь, трещинообразование связано с релаксацией внутренних напряжений горного массива и определяется целым рядом физико-механических характеристик и условий. В такой трактовке образование речных русел определяется, прежде всего тектоническими (эндогенными) процессами трещинообразования, а затем начинают действовать экзогенные процессы, связанные с переносом твердого и жидкого вещества, динамикой подземных вод и т.п. [Vasiliev, Trifonova, 1999; Trifonova, 1999, 2005, 2008; Samofalova, Shutov, 2017]. Надо полагать, что такой процесс трещинообразования происходит в твердом фундаменте, а впоследствии «наследуется» перекрывающими, например четвертичными, отложениями. Для подтверждения данной гипотезы необходимо найти корреляционные связи между тектоническим строением территории и характером русловых систем, образующих водосборные бассейны. В качестве приоритетных, по-видимому, целесообразно использовать морфометрические показатели.

Эффективным методом изучения функционирования бассейновых геосистем в природных границах является морфометрический анализ рельефа, основанный на использовании цифровых моделей рельефа (ЦМР) и современных компьютерных технологий, в частности географических информационных систем (ГИС) [Gleizer et al., 2006; Maltsev, Sharifullin, 2017; Repkin et al., 2017].

Опыт отечественных и зарубежных исследователей в области эффективного применения инструментария ГИС-технологий и цифрового моделирования рельефа в вопросах идентификации, оценки и анализа геоморфологии бассейновых систем свидетельствует о важности решения задач, связанных с бассейновым районированием [Vlasova, 2012;

*Ermolaev et al., 2014; Polyakova, Gafarov, 2014; Sreedevi et al., 2005; Varalakshmi, 2015; Waikar, Nilawar, 2014; Chen et al., 2010*].

Однако следует отметить то, что в настоящее время сложно говорить о единых методах изучения фундаментальных пространственных геосистем, особенно с точки зрения ГИС и морфометрического анализа рельефа.

Цель настоящей работы – на основе цифровой модели рельефа, а также ряда морфологических и морфометрических характеристик провести пространственную функциональную типизацию различных водосборных бассейнов, приуроченных к различным тектоническим структурам, формирующих в то же время единый водосбор р. Камы.

## 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

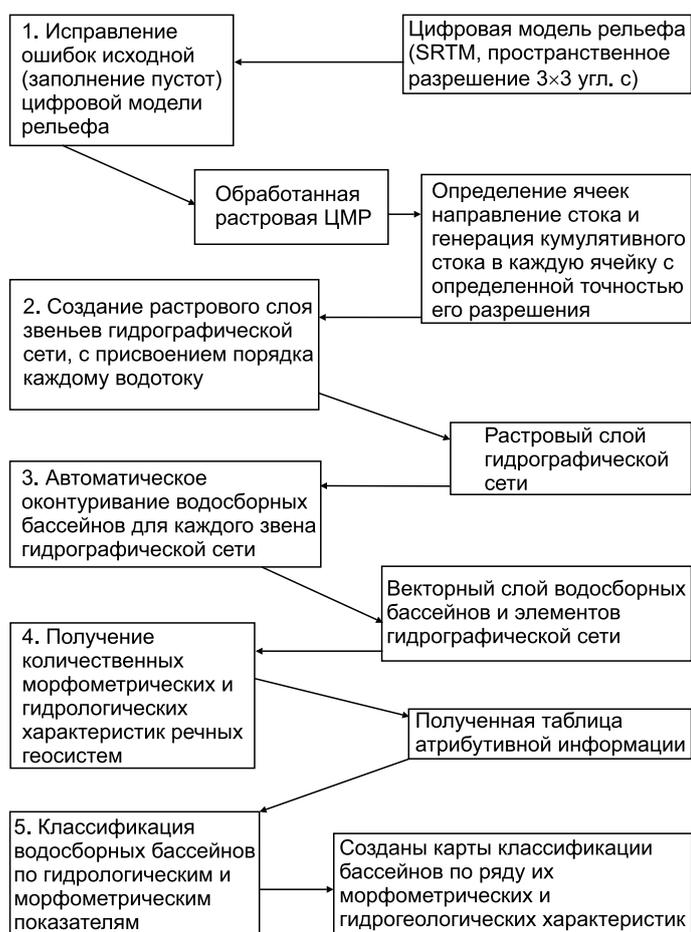
Объект исследований – водосборный бассейн р. Камы, который расположен на востоке европейской части России и граничит с бассейнами Северной Двины, Печоры, Оби, Урала, Верхней и Нижней Волги. Бассейн Камы занимает 507 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет более трети площади бассейна р. Волги. В составе русловой сети бассейна, по нашим данным, имеется более 74 000 водотоков. Большинство из них – малые реки длиной менее 10 км. Лишь 4048 рек имеют длину 10 км и более, а 42 – более 200 км. Абсолютное большинство рек региона являются малыми водотоками и имеют площадь бассейна менее 1000 км<sup>2</sup>.

Пространственная типизация рассматриваемых бассейнов по морфометрическим показателям произведена последовательно, в пять этапов по разработанному алгоритму (рис. 1).

Базисом эрозии выделенных бассейнов является р. Кама (принятая нами за главную реку 1-го порядка), второй и последующие порядки присваивались притокам, счет которых идет от главной реки. По данной схеме выделены речные бассейны до 4-го порядка.

В качестве операционно-территориальных единиц приняты водосборы 2-го порядка площадью более 1000 км<sup>2</sup>; всего выделено 33 водосбора. В связи с тем, что территория исследования находится в пределах Восточно-Европейской равнины и Уральской горной страны, бассейн р. Камы был условно разделен на *равнинную* и *горную части*, в которых бассейны максимально отличаются, прежде всего, по средней абсолютной высоте.

На *первом этапе* проводилась обработка ЦМР: устранялись исходные ошибки функцией Fill (заполнение). Входными данными служила радарная топографическая съемка Земли – SRTM (Shuttle radar topographic mission).



**Рис. 1.** Блок-схема основных этапов исследования. Этапы обозначены цифрами, направления выполнения алгоритма – стрелками.

**Fig. 1.** Schematic diagram showing the main stages of the study. The stages are numbered. The algorithm sequence is shown by arrows.

На *втором и третьем этапах* по обработанной ЦМР определялась речная сеть, границы литоводосборных бассейнов и их элементов [Trifonova, 1999] автоматизированными методами геодеширования в среде ArcGIS 10.2 с помощью набора инструментов Hydrology [Ermolaev et al., 2014; Kashchavtseva, Shipulin, 2011]. Выделялись основные бассейны, имеющие листовидную или лопастьвидную форму, а также заключенные между ними бассейны дельтавидной формы – фанды [Trifonova, 1999, 2008].

При количественной характеристике рельефа обычно используются различные показатели [Lastochkin, 1991; Simonov, 1998; Pogorelov, Dumit, 2009]. Так, в работах некоторых зарубежных исследователей отражены способы расчета и получения данных показателей с точки зрения геоинформационного моделирования, базирующегося на применении ЦМР [Pennock et al., 1987; Zevenbergen, Thorne, 1987].

Вследствие вышеизложенного на *четвертом этапе* выделены основные морфометрические параметры бассейнов (площадь  $F$ , км<sup>2</sup>; периметр  $P$ , км; длина водотока  $L$ , км; длина водосбора  $K$ , км; средняя абсолютная высота водосбора  $H_s$ , м н.у.м.), которые получены измерением по подготовленным ЦМР.

На основе главных морфометрических параметров рассчитаны следующие группы бассейновых характеристик:

1) геометрические:  $U$  – средняя ширина водосбора, км;  $\alpha$  – коэффициент асимметрии (изометрия);  $\Phi$  – параметр формы водосбора, км<sup>-1</sup> [Korytny, 1984];

2) гидрологические:  $D$  – густота эрозионного расчленения, км/км<sup>2</sup>;  $I$  – уклон реки, м/км [Waikar, Nilawar, 2014];

3) рельефные:  $H_p$  – глубина вертикального расчленения, м;  $H$  – падение реки, м;  $R$  – коэффициент рельефа [Waikar, Nilawar, 2014; Pogorelov, Dumit, 2009].

На *пятом этапе* произведен сравнительный морфометрический, многофакторный и кластерный анализ с помощью методов геостатистики в программной среде STATISTICA 10.

Для установления наиболее информативных классификационных признаков-факторов применен метод многомерного статистического анализа – метод главных компонент – с целью выявления латентной структуры данных и исключения из анализа наименее значимых и, напротив, установления наиболее важных (главных) факторов, которые могут быть использованы в кластерном анализе [Esbensen, 2005].

Морфометрические показатели, выступающие в анализе в качестве «главных компонент», их состав и различные взаимозависимости выявлены по графику нагрузок переменных, который демонстрирует спроецированные переменные на факторную плоскость по ортогональным осям первых двух главных факторов, объясняющих основную долю дисперсии случайных величин (переменных анализа), что позволяет выявить новые формальные переменные с «высокой факторной нагрузкой», которые моделируют содержательную информацию, исключая «информационный шум», неизбежно присутствующий в данных.

Для классификации речных бассейнов использовался статистический метод кластерного анализа [Aivazyan et al., 1974]. Опыт кластеризации речных бассейнов по ряду их морфометрических и гидрологических характеристик представлен в некоторых работах, например [Trifonova et al., 2005].

При анализе объективности методов объединения объектов в классы для гидрологического и геоморфологического районирования применялся метод Варда [Ward, 1963].

Т а б л и ц а 1. Морфометрические параметры рельефа бассейна реки Камы

Table 1. Morphometric parameters of the terrain of the Kama river basin

Параметр	Кол-во от общей площади, %	
	Равнинная часть	Горная часть
<b>Высота местности, м над уровнем моря</b>		
0–200, низменности	62.5	24.4
200–500, возвышенности	34.8	57.0
500–800, низкогорья	–	14.6
800–2000, среднегорья	–	4.1
<b>Уклон, град</b>		
0.5–2.0, отлогости и наклонные равнины	82.1	67.2
2–7, пологие склоны	17.8	4.5
7–15, покатые склоны	0.1	7.1
15–40, умеренно крутые склоны	–	17.8
40–50, умеренно обрывистые склоны	–	3.1
50–60, сильнообрывистые склоны	–	0.3
60–80, обрывы	–	0.1
<b>Экспозиция склона, румб</b>		
Плоские поверхности (уклон <0.1°)	71.7	67.2

Кластерный анализ речных бассейнов проведен по выявленным главным компонентам – основным параметрам, отражающим структуру бассейнов, а также по всей совокупности переменных (13 характеристик), что позволило определить группы бассейнов, объединенных на основе схожих морфометрических характеристик.

Результаты типизации водосборных бассейнов, в частности элементы эрозионной сети (речные русла), сопоставлялись с картой тектонических структур [Morozov, 2000] для выявления особенностей заложения речной сети в отношении тектонического фундамента и зон взаимодействия тектонических структур.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

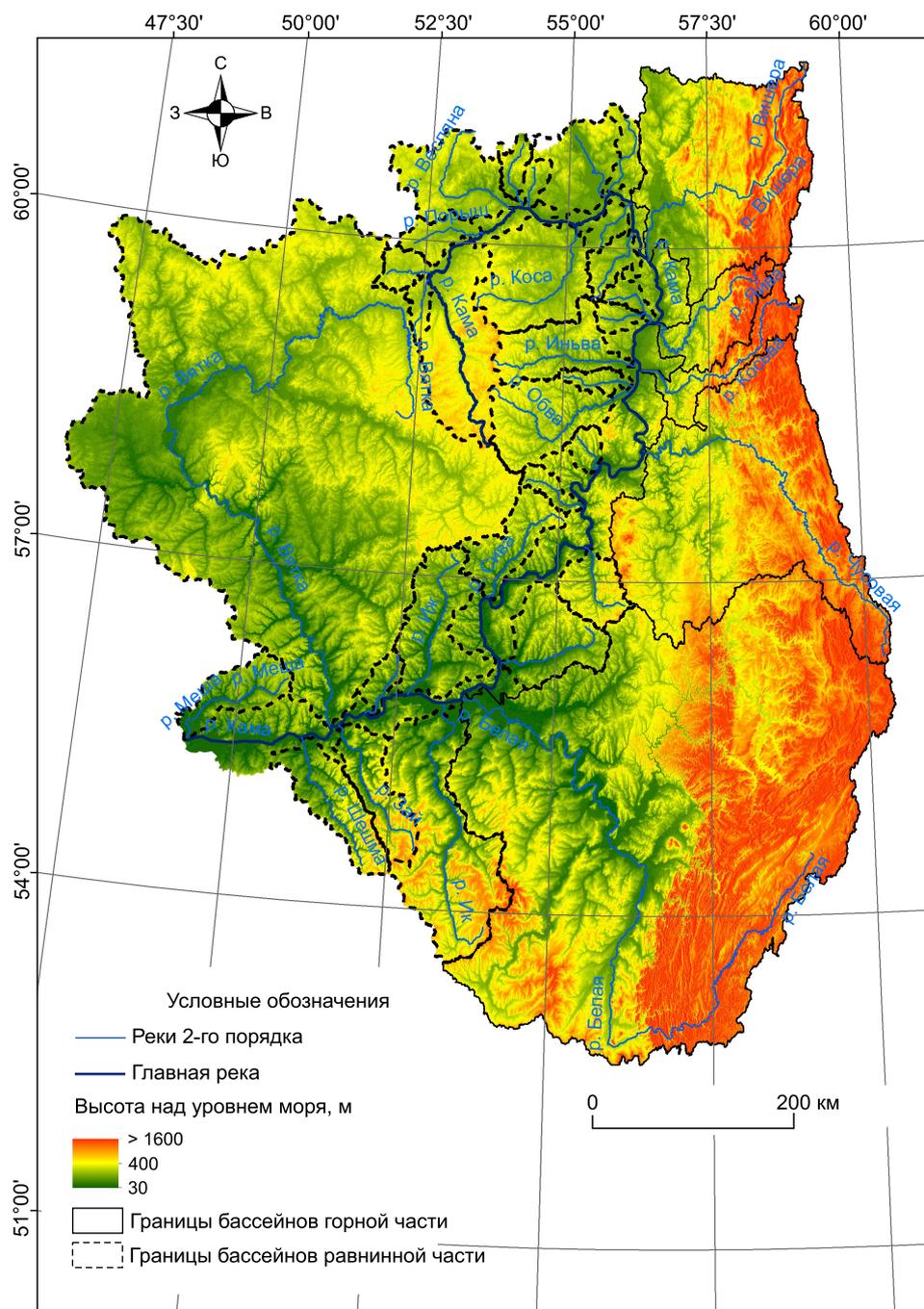
Сформированная база данных включает 3094 элементарных речных водосбора и их межбассейновые пространства, целостно покрывающие бассейн р. Камы. Общая площадь бассейна составляет более 0.5 млн км<sup>2</sup>. В структуре площади бассейна преобладают микроводосборы рек 4-го и более высоких порядков (51.2 %). На фанды бассейнов рек 1–3-го порядка (малые дельтавидные бассейны, заключенные между крупными водосборами и прилегающими непосредственно к главной реке [Trifonova, 1999]) приходится 33.9 % площади, минимальная доля площади (14.9 %) занята малыми водосборами рек низких порядков (2 и 3-го), площади которых менее 1000 км<sup>2</sup>.

Морфометрические показатели рельефа (абсолютная высота, уклон местности, экспозиции

склонов) определены по ЦМР и производным от них картам и выражены в процентах от площади равнинной и горной части бассейна (табл. 1). Абсолютная высота, уклон местности сильно варьируются (30–1650 м, 0.5–60.0° и более) (рис. 2) и имеют пеструю картину пространственного распределения. В структуре площади бассейна преобладают плоские поверхности, на склоны различных экспозиций приходится минимальная доля площади.

По морфометрическим показателям идентифицированы основные типы морфодинамических структур: поймы (нерасчлененные, центрально-грядистые, притеррасно-центральные), водоразделы, депрессии, повышенные и пониженные территории. Основное количество разнопорядковых водосборов приурочено к равнинной части, которая в большей мере составлена низменностями (150000 км<sup>2</sup> площади), в меньшей – возвышенностями (более 80000 км<sup>2</sup>). Уклон местности варьируется от 0.5 до 15°, наибольшая доля площади приходится на отлогие и наклонные равнины (табл. 1).

В горной части водосборные бассейны образованы левыми притоками Камы, которые в верховьях обладают характером горных рек (Белая, Чусовая, Вишера, Косьва, Яйва). Облик водосборов определяется здесь главным образом приуроченностью к Уральской горной стране, поэтому морфометрические показатели отличаются большей пестротой и неравномерным распределением по сравнению с равнинной частью. Так, возвышенности занимают преобладающую площадь в бассейнах (более 130 тыс. км<sup>2</sup>), низменности имеют площадь около 55 тыс. км<sup>2</sup>, истоки рек и некоторые участки бассейнов



**Рис. 2.** Цифровая модель рельефа в границах речных бассейнов равнинной и горной части. Толстой синей линией обозначена главная река, тонкими синими линиями обозначены реки 2-го порядка, пунктирные линии – границы бассейнов равнинной части, сплошные линии – границы бассейнов горной части.

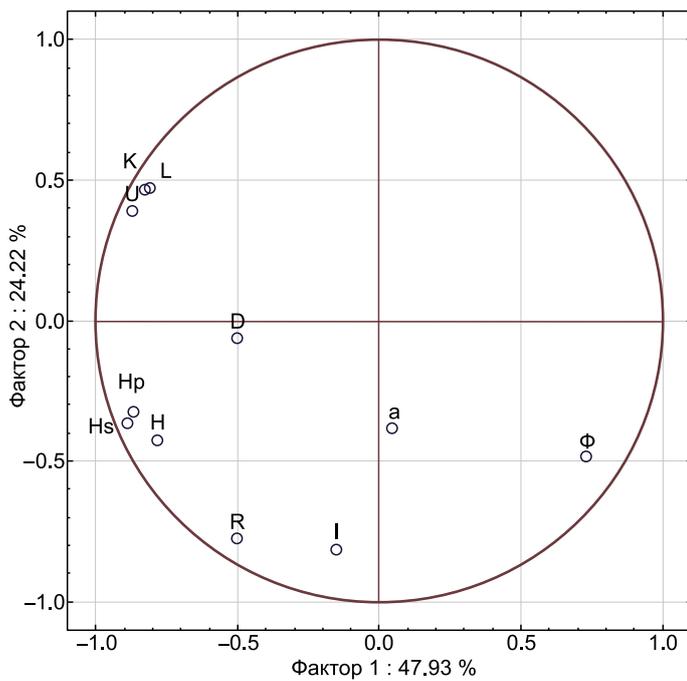
**Fig. 2.** Digital terrain model of the river basins in the plain and mountainous parts of the study area. Thick blue line – main river; thin blue lines – second-order rivers; dashed lines – boundaries of the basins in the plain part; solid lines – boundaries of the basins of the mountainous part.

в верховьях приурочены к низкогорьям и среднегорьям (табл. 1).

Физический смысл первой главной компоненты заключается в определении водосбора с конкретной геометрической формой, а также с симметричным или асимметричным геоморфологическим строением. В связи с этим состав первой компоненты в

большей степени определен переменной  $\Phi$  – параметром формы бассейна, в меньшей – коэффициентом изометрии ( $\alpha$ ), которые и вносят максимальный вклад (общая дисперсия 48 %) при классификационной процедуре (рис. 3, табл. 2).

Смысл второй компоненты заключен в идентификации водосборных бассейнов как по гидрологиче-



**Рис. 3.** График факторных нагрузок переменных.

**Fig. 3.** Graph of the factor loadings of variables.

скому функционированию, так и по линейным характеристикам бассейна. Данный фактор составляют переменные (D, L, U, K), тесно коррелирующие между собой. Высокую значимость фактора в кластерном анализе определяет величина его общей дисперсии (24 %).

Третья компонента трактуется как дифференциация водосборов по уровню высотной организации. Здесь выявлены коррелирующие переменные с высокой факторной нагрузкой – глубина вертикального расчленения рельефа ( $H_p$ ) и средняя абсолютная высота водосбора ( $H_s$ ) как важные характеристики при определении эрозии. Данные показатели вносят минимальный вклад в результаты кластеризации (общая дисперсия 8 %), но при этом выделяются как новая формальная переменная (собственное значение близко к 1). Главные компоненты объясняют около 81 % разброса данных, а остальные 19 % составляет «шум» после проекции исходного массива данных на три первые компо-

ненты. Оставшиеся переменные (R, I, H, P, F), с низкой факторной нагрузкой, будут влиять в минимальной степени на кластерный анализ, поэтому за основу классификации взяты главные компоненты. Коэффициент рельефа (R) и уклон реки (I) усреднены по выделенным группам и хорошо коррелируют с результатами классификации по основному составу факторов.

В ходе кластерного анализа произошло разделение объектов на семь статистически различных групп в варианте по главным компонентам (8 переменных) (рис. 4). При классификации по всему объему характеристик (13 переменных) состав выделенных групп в целом совпадает с результатами классификации по главным факторам, что подтверждает высокую степень объективности новых формальных переменных. На более высоком уровне объединения бассейнов в группы можно наблюдать дифференциацию на три общих класса, различия которых состоят в физико-географическом положении, размерах, геометрии объектов анализа.

На основе полученных классификаций составлены карты, отражающие выделенные типы геосистем речных бассейнов по сочетанию морфометрических параметров (главным признакам-факторам) (рис. 5).

В результате было выделено семь основных групп (типов) бассейнов:

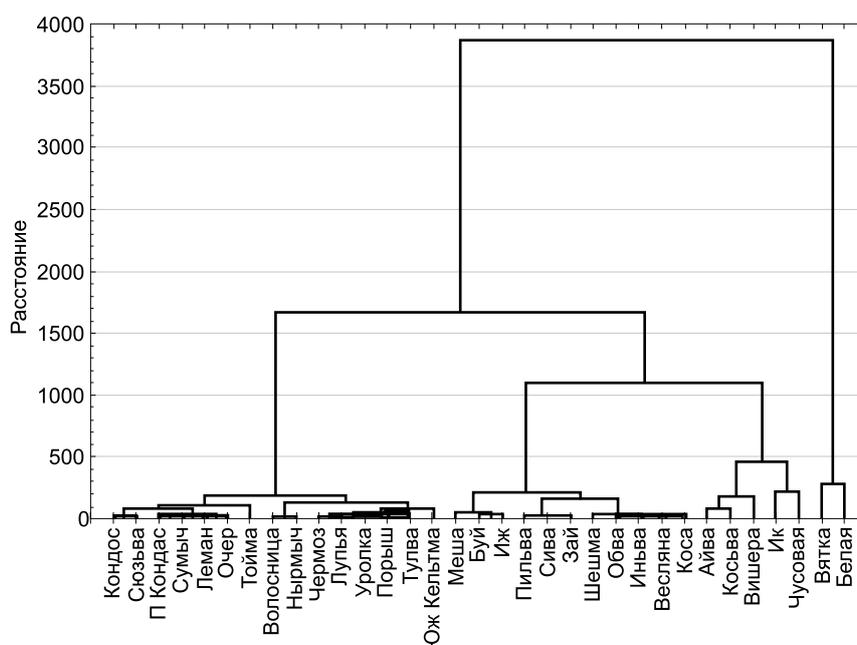
1. Группа *Вятско-Бельская равнинная*, формирующая основную площадь правого и левого бережья Камы с минимальным речным уклоном (0.30 м/км) и симметричными водотоками с резкой сменой направления течения. Представлена самыми крупными притоками реки Камы – рекой Белой (левый приток) и рекой Вяткой (правый приток). Выделение данных бассейнов в отдельную группу связано с их близкой геометрией, протяженностью, рисунком речной сети, изометрией водосбора.

Хотя бассейны и расположены в различных частях (равнинной и горной) территории, длина рек, площади бассейнов, густота овражно-балочной сети, изометрические параметры являются количественно-близкими. Истоки обеих рек приурочены к возвышенным участкам при аналогичной картине смены направления течения. Именно симметричный рисунок речной сети и является одним из

**Т а б л и ц а 2. Статистические параметры и интерпретация главных компонент**

**Table 2. Statistical parameters and interpretation of the main components**

Фактор (компонента)	Собственное значение	% общей дисперсии	% кумулятивной дисперсии	Переменные
Геометрический	5.272	47.933	47.933	$\Phi$ , $\alpha$
Гидролого-морфометрический	2.664	24.224	72.157	L, U, K, D
Высотная организация	0.945	8.594	80.752	$H_p$ , $H_s$



**Рис. 4.** Кластерная дендрограмма при классификации объектов по трем главным компонентам. По оси ординат заложено евклидово расстояние, по оси абсцисс – речные бассейны.

**Fig. 4.** Cluster dendrogram for the classification of objects by the three main components. Vertical axis – Euclidean distance; horizontal axis – river basins.

основных критериев объединения объектов в одну классификационную группу. Можно заметить подобие изменения течения рек: так, р. Белая в верхнем течении устремляется с северо-востока на юго-запад, затем резко меняет направление с юга на север и далее на северо-запад до впадения в Каму. Река Вятка в верховьях течет с юга на север, затем резко поворачивает на юго-запад и далее делает еще один крутой поворот, направляясь на юго-восток до впадения в Каму. Именно эти два бассейна определяют основную геометрическую симметрию лево- и правобережья реки Кама. Данные водотоки в нижнем и среднем течении, находящиеся в равнинных условиях, обладают минимальным речным уклоном (табл. 3).

Максимальная глубина вертикального расчленения рельефа (1600 м) приходится лишь на верховье бассейна р. Белой, приуроченного к среднегорьям Южного Урала, однако большая часть территории (81 %) представлена низменностями и возвышенностями до 500 м н.у.м. Бассейн р. Вятки также находится в равнинных условиях, с глубиной вертикального расчленения не более 300 м. Максимальное проявление эрозионных процессов выражено в восточной части бассейна р. Белой в условиях горного рельефа.

2. Группа *возвышенных бассейнов*, со значительными перепадами высот (501 м), близкой длиной рек (571–592 км) и повышенным значением густоты речной сети (0.52 км/км<sup>2</sup>). Группа образована

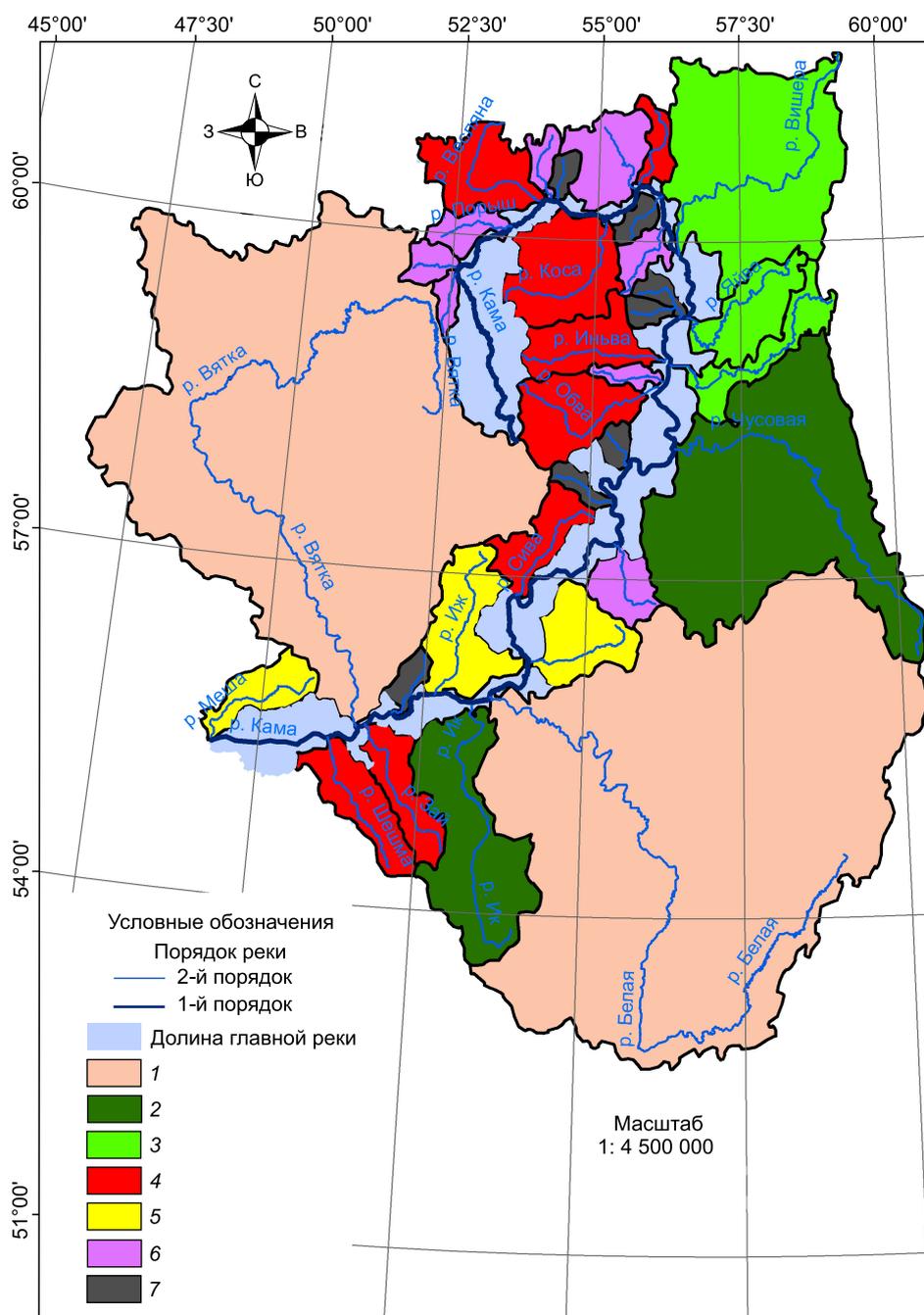
бассейнами рек Чусовая и Ик, которые опоясывают бассейн р. Белой с северо-востока и юго-запада.

3. Группа *горных бассейнов* с максимальным перепадом высот (1182 м), речным уклоном (1.7 м/км). Образована типичными горными геосистемами (Косьва, Яйва, Вишера), которые характеризуются предельным коэффициентом рельефа (6.4). Очевидно, что такие условия будут способствовать максимальному проявлению эрозионных процессов.

4. Группа *равнинных бассейнов центральной и юго-восточной части* территории со средними перепадами высот (185 м), речным уклоном (0.57 м/км), повышенной густотой речной сети (0.53 км/км<sup>2</sup>). Данный тип широко распространен и представлен бассейнами рек Обва, Иньва, Коса, Везляна, Шешма, Зай, Сива, Пильва с низким эрозионным потенциалом (коэффициент рельефа 1.42).

5. Группа *равнинных бассейнов (приустьевые бассейны)*, схожих по длине рек (204–237 км), форме, с мягкими перепадами высот (не более 160 м), умеренной густотой речной сети (0.43 км/км<sup>2</sup>); пространственно располагаются близко к устьевому участку главной реки. Типичные равнинные водотоки (реки Иж, Буй, Меша).

6. Группа *северных равнинных бассейнов* с минимальным перепадом высот (135 м), в основном сосредоточены в северной части территории. Многочисленная группа, склонная к минимальному проявлению эрозионных процессов, состоящая из



**Рис. 5.** Пространственная типизация бассейнов по главным компонентам. Речная долина Камы и бассейны 2-го порядка (площадью до 1000 км<sup>2</sup>) объединены и окрашены светло-синим цветом. Темно-синим цветом обозначена главная река (1-го порядка), светло-синим – реки 2-го порядка (линейные объекты).

**Fig. 5.** Spatial typification of the river basins by the major components. Light blue – Kama river basin and the second-order river basins (max 1000 km<sup>2</sup>); dark blue – main river (first-order); light blue lines – second-order rivers (linear objects).

бассейнов рек Южная Кельтма, Тулва, Порыш, Уролка, Лупья, Чермоз, Нырмыч, Волосница.

7. Группа *малых равнинных бассейнов*, наименьших по занимаемой площади, с повышенным коэффициентом рельефа (2.47) и минимальной густотой речной сети (0.38 км/км<sup>2</sup>), сильно рассредоточенных по территории, но близких по показателю формы (0.2). Группу составляют следующие речные

бассейны: Очер, Леман, Сумыч, Кондас, Полуденный Кондас, Сюзьва, Тойма.

Выявлена территориальная приуроченность групп бассейнов 2 и 3-го типа к высокому левобережью Камы (горная часть), тогда как правобережная, более низкая, часть бассейна составлена объектами 4–7-го типа с более низким коэффициентом рельефа. Первый тип бассейновых геосистем более

Т а б л и ц а 3. Значения основных морфометрических характеристик в выделенных группах речных бассейнов (среднее  $\pm$  стандартное отклонение)Table 3. Values of the main morphometric characteristics in the identified groups of river basins (mean  $\pm$  standard deviations)

Группа	H <sub>p</sub> , м	D, км/км <sup>2</sup>	I, м/км	Ф, км <sup>-1</sup>	U, км	R, м/км
Вятско-Бельская равнинная группа бассейнов	205–485	0.48 $\pm$ 0.09	0.30 $\pm$ 0.23	0.02 $\pm$ 0.01	98.8 $\pm$ 1.27	2.03 $\pm$ 2.34
Группа возвышенных бассейнов	263–742	0.52 $\pm$ 0.24	0.42 $\pm$ 0.09	0.05 $\pm$ 0.02	54.5 $\pm$ 33.8	1.67 $\pm$ 0.9
Группа горных бассейнов	740–1411	0.62 $\pm$ 0.03	1.70 $\pm$ 0.49	0.1 $\pm$ 0.05	38.4 $\pm$ 29.3	6.40 $\pm$ 1.4
Группа равнинных бассейнов центральной и юго-восточной части	132–235	0.53 $\pm$ 0.13	0.57 $\pm$ 0.21	0.11 $\pm$ 0.03	24.9 $\pm$ 7.9	1.42 $\pm$ 0.36
Группа равнинных (приустьевых) бассейнов	121–180	0.43 $\pm$ 0.09	0.51 $\pm$ 0.13	0.10 $\pm$ 0.01	28.0 $\pm$ 6.1	1.22 $\pm$ 0.31
Группа северных равнинных бассейнов	93–245	0.41 $\pm$ 0.09	0.67 $\pm$ 0.31	0.17 $\pm$ 0.05	18.3 $\pm$ 9.2	1.74 $\pm$ 0.57
Группа малых равнинных бассейнов	101–157	0.38 $\pm$ 0.04	1.02 $\pm$ 0.47	0.20 $\pm$ 0.02	14.7 $\pm$ 4.9	2.47 $\pm$ 0.53

тяготеет к равнинной части и составляет основную площадь территории.

При сравнении результатов классификации по всем учитываемым параметрам и по главным компонентам имеются как совпадающие, так и различающиеся объекты внутри групп, но в целом совпадающее количество водосборов при двух вариантах классификации объективно отражает существование типизированных групп. С помощью классификации по различным переменным для каждой группы определяются репрезентативные бассейны, которые могут служить объектом для более подробного исследования и дальнейшего экологического мониторинга.

В работе были проанализированы тектонические особенности строения территории бассейна р. Камы с целью определения корреляции между характером заложения русловой сети и особенностями тектонического строения территории [Morozov, 2000].

Территория бассейна принадлежит к двум крупным (надпорядковым) элементам земной коры – Восточно-Европейской платформе и Урало-Новоземельскому складчатому поясу. Эти регионы различаются возрастом и строением фундамента, составом и мощностью платформенного чехла, отражающими особенности их геоэволюции.

На границе платформы и собственно складчатой системы выделяется переходная зона – Предуральский краевой прогиб, заложенный на погружавшемся под варисский орогенный пояс краю Восточно-Европейской платформы и выполненный продуктами денудации Уральского горного сооружения [Vodolazskaya et al., 2015].

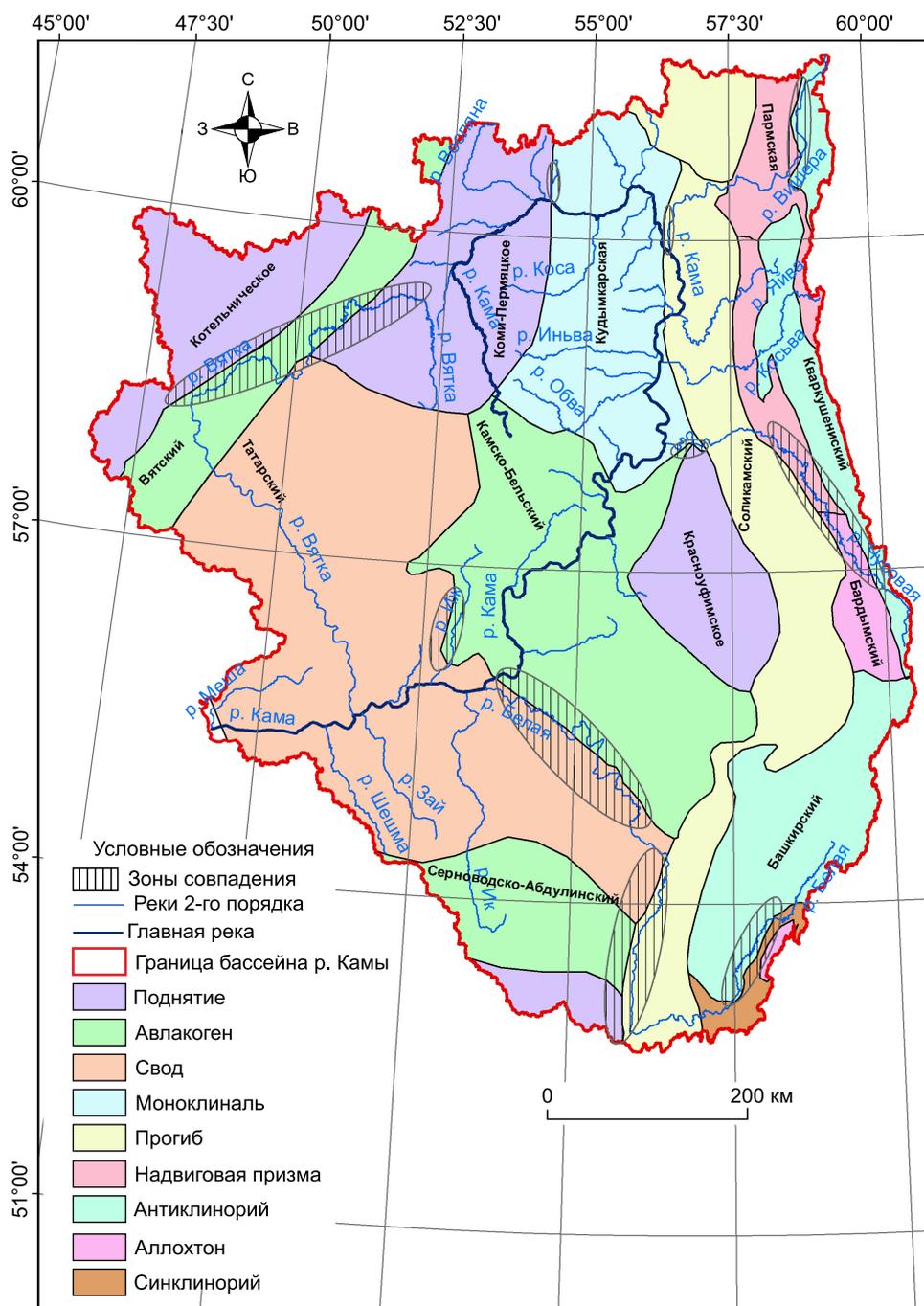
При совмещении границ древнейших тектонических единиц с выделенными группами речных водосборов и эрозионной сети было выявлено их определенное пространственное совпадение. Так, поло-

жение групп выделенных кластеров сочетается с пространственным положением тектонических структур, геологических разломов и изменением типа горных пород. Для типов геосистем речных бассейнов, сгруппированных по морфометрическим показателям, определены тектонические структуры, которые объединяют сходные по геоморфологии части бассейнов, а также водотоки, коррелирующие с тектоническими структурами и контактами (рис. 6, табл. 4).

1. Вятско-Бельская группа равнинных бассейнов, максимальных по площади и протяженности рек, приурочена к тектонической структуре Татарского сводового поднятия и Камско-Бельского (Калтасинского) авлакогена. Водотоки группы в нижнем течении рассекают Татарский свод, а в среднем и верхнем приближаются к зонам контакта тектонических структур: Вятского авлакогена с Татарским сводом, Соликамского прогиба с Татарским сводом и Башкирского антиклинория с Зилаирским синклинорием.

2. Возвышенные бассейны расположены в различных по составу тектонических структурах, по большей части относящихся к Русской плите (Красноуфимское поднятие в бассейне р. Чусовой и Татарский свод в бассейне р. Ик). Бассейн р. Чусовой восточной частью приурочен к тектоническим структурам Уральской горной страны. Русло реки в среднем и верхнем течении на значительном протяжении коррелирует с контактами между тектоническими структурами: Чусовской надвиговой призмой, Бардымским аллохтоном, Соликамским прогибом.

3. Горные бассейны, максимальные по высотно-орографическим параметрам, наибольшие по динамике экзогенных процессов, приурочены к Кваркушенскому антиклинорию, Пармской надвиговой призме (бассейн р. Вишера), Чусовской надвиговой



**Рис. 6.** Карта взаиморасположения русловой сети и основных тектонических блоков. Штриховкой выделены территории, на которых русловая сеть приурочена к тектоническим контактам; цветом обозначены древние тектонические структуры, расшифрованные в тексте.

**Fig. 6.** Map showing the river channel network and the main tectonic blocks. Hatching – areas with the channel network confined to tectonic contacts; colouring – ancient tectonic structures (see the text).

призме (бассейны р. Косьва и Яйва) и Соликамскому прогибу (все бассейны группы). Река Вишера в верхнем течении приурочена к тектоническому контакту между Кваркушенским антиклинорием и Пармской надвиговой призмой, остальные водотоки группы (р. Косьва и Яйва), ориентированные с севера-востока на юго-запад, пересекают тектонические структуры перпендикулярно их простиранию.

4. Большинство равнинных бассейнов (группы 4–7) максимально различны в физико-географическом отношении, однако близки орографически (наименьший перепад абсолютных высот, речной уклон), подобны по геометрии и приурочены к тектоническим структурам – Кудымкарской моноклинали (наибольшее количество приуроченных бассейнов составляет группа *малых равнинных геоси-*

Т а б л и ц а 4. Распределение морфологических типов геосистем с тектоническими структурами

Table 4. Morphological types of the geosystems in relation to the tectonic structures

Кластер-группа	Морфометрия			Водотоки (участок и протяженность, км)		Объединяющие группы тектонических структур, код (кол-во бассейнов)
	площадь, км <sup>2</sup>	перепад высот, м	густота речной сети, км/км <sup>2</sup>	приуроченные к тектоническим контактам	приуроченные к тектоническим структурам	
1. Вятско-Бельская равнинная	271363	902	0.48	Вятка (верхнее течение, 200–220) Белая (среднее и верхнее течение, 200–275)	Кама (от истока до устья 1781) Вятка (нижнее и среднее течение 250–280) Белая (нижнее течение 200–250)	4 (2), 5 (2) УГ+ПП+РП
2. Возвышенные геосистемы	63955	501	0.52	Чусовая (среднее и верхнее течение, 260–300)	Ик, Чусовая (нижнее течение, 100–120)	отсутствуют УГ+ПП+РП
3. Горные геосистемы	42514	1182	0.62	Вишера (верхнее течение, 130–150)	Яйва, Косьва, Вишера (нижнее и среднее течение, 150–180)	1 (2), 2 (3), 3 (3) УГ+ПП
4. Равнинные геосистемы центральной и юго-восточной части	49120	185	0.53	Пильва (верхнее 40)	Коса, Весляна, Иньва, Обва, Шешма, Зай, Сива, Пильва (нижнее и среднее течение, 150–160)	5 (2), 6 (4), 7 (2) РП
5. Равнинные геосистемы (приустьевые)	19632	160	0.43	Иж (нижнее и среднее течение, 170–180)	Буй, Меша, Иж (верхнее течение, 60–90)	4 (1), 5 (2) РП
6. Северные равнинные геосистемы	19257	135	0.41	–	Южная Кельтма, Тулва, Порыш, Уролка, Лупья, Чермоз, Нырмыч, Волосница	6 (3), 7 (4) РП
7. Малые равнинные геосистемы	8365	138	0.38	Леман (от истока до устья), Сюзьва (от истока до устья)	Очер, Сумьч, Полуденный Кондас, Кондас, Тойма	5 (2), 6 (5) РП

П р и м е ч а н и е. Код тектонической структуры: 1 – Чусовская надвиговая призма, 2 – Кваркушенский (антиклинорий), 3 – Соликамский (прогиб), 4 – Татарский (свод), 5 – Камско-Бельский (Калтасинский) (авлакоген), 6 – Кудымкарская (моноклинал), 7 – Коми-Пермяцкое (поднятия). Тектонические структуры 1 и 2 относятся к Уральской горной стране (УГ), 3 – к Предуральскому краевому прогибу (ПП), 4–7 – к Русской плите (РП).

N o t e. Tectonic structures: 1 – Chusovaya thrust prism; 2 – Kvarqushensky anticline, 3 – Solikamsky aulacogene, 4 – Tatar arch, 5 – Kama-Belsky (Kaltasinsky) aulacogene; 6 – Kudymkar monoclinal; 7 – Komi-Permyak uplift. Tectonic structures 1 and 2 belong to the Ural mountain region (УГ); structure 3 belongs to the Pre-Ural marginal trough (ПП); structures 4–7 belong to the Russian plate (РП).

стем – 5 бассейнов из 7), Коми-Пермяцкому поднятию (наибольшее количество приуроченных бассейнов составляет группа *северных равнинных геосистем* – 4 бассейна из 8), Камско-Бельскому авлакогену (наибольшее количество приуроченных бассейнов составляет группа *равнинных геосистем (приустьевых)* – 2 бассейна из 3). Наименьшее количество водотоков данных групп коррелирует с тектоническими контактами.

Таким образом, установлено, что бассейновые геосистемы разного типа со свойственными наборами морфометрических показателей (геометрические, гидрологические, рельефные) приурочены к различным тектоническим структурам. Выявлена предрасположенность русловой сети водотоков к корреляции с тектоническими контактами в условиях Предуральского краевого прогиба и Уральско-го горного сооружения. Бассейны, формируемые данными речными системами, отличаются наибольшей пестротой морфометрических показателей (энергией рельефа, речным уклоном, асимметричным строением).

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере литоводосборного бассейна реки Камы с учетом различных геоморфологических признаков и морфометрических показателей разработана система многофакторного информационно-математического анализа, позволившая провести типизацию бассейнов, сформированных разноморфологическими притоками.

Показано, что бассейн Камы подразделяется на равнинную и горную части, для которых существуют характерные различия в геолого-геоморфологическом строении и морфометрических показателях, таких как средняя абсолютная высота, уклон местности, экспозиция склонов и др. Для Камского речного бассейна характерна правосторонняя и левосторонняя симметрия, обусловленная наличием сходных по структуре бассейнов рек Вятка и Беляя.

Метод главных компонент из всего объема расчетных характеристик позволил выделить переменные с максимальной факторной нагрузкой, которые определяют последующую процедуру кластерного анализа. Метод кластерного анализа по Варду позволил сгруппировать водосборные бассейны по сходным расчетным морфометрическим

и гидрологическим показателям, что является основой пространственной типизации геосистем.

Установлена принадлежность типов геосистем речных бассейнов с характерными морфометрическими признаками к различным древним тектоническим структурам, что свидетельствует в пользу генетической взаимосвязи эндогенных процессов руслового трещинообразования с разнообразием геометрических параметров различных бассейнов.

При классификации по трем группам характеристик – геометрических, гидрологических, орографических (геометрическая форма бассейна, средняя длина, ширина бассейна, длина и густота эрозионной сети, средняя абсолютная высота и перепады высот) – выделяются три основных кластера объектов, состоящие из семи статистически-различимых морфометрических типов геосистем. Первый тип обособлен симметрично-подобными, наибольшими по занимаемой площади водосборами. Второй и третий тип – это геосистемы, составляющие левобережье Камы, восточной частью приуроченные к горным территориям и выделяющиеся среди других групп по интенсивности протекающих экзогенных процессов. Геосистемы остальных групп образованы равнинными бассейнами и отличаются параметрами высотно-морфологического строения, что обуславливает наименьший потенциал к проявлению эрозионных процессов.

Следует отметить, что настоящая работа является первой в аспекте изучения коррелятивных связей между процессами бассейнообразования и тектоническим строением территории и, конечно, предполагает более глубокие исследования. Однако можно полагать, что предложенный подход к анализу пространственной неоднородности морфометрических показателей бассейновых геосистем позволяет провести типизацию последних по наиболее характерным признакам, что является основой для бассейнового районирования территории, выбора репрезентативных бассейнов для экологического мониторинга, а также более обоснованно моделировать и прогнозировать природно-антропогенные процессы в пределах различных бассейнов.

#### 5. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 19-05-00363, 17-05-41-034 РГО).

#### 6. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Aivazyan S.A., Bezhaeva Z.I., Staroverov O.V., 1974. Classification of Multidimensional Observations. Statistics Publishing House, Moscow, 240 p. (in Russian) [Айвазян С.А., Бежаева З.И., Староверов О.В. Классификация многомерных наблюдений. М.: Статистика, 1974. 240 с.].

- Chen Y., Chen J., Xevi E., Ahmad M., Walker G., 2010. GIS-based spatial hydrological zoning for sustainable water management of irrigation areas. In: International Environmental Modeling and Software Society (iEMSs), International Congress on Environmental Modeling and Software Modeling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting. Ottawa, Canada, p. 1–9.
- Dunaeva E.A., Kovalenko P.I., 2013. Typification of Crimean river basins by agrolandscapes and ecological load. *Scientific Journal of Russian Research Institute of Land Improvement Problems* (4), 157–167 (in Russian) [Дунаева Е.А., Коваленко П.И. Типизация бассейнов рек Крыма по агроландшафтам и экологической нагрузке на них // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2013. № 4. С. 157–167].
- Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Ivanov M.A., 2014. Automated construction of the boundaries of basin geosystems for the Volga Federal District. *Geography and Natural Resources* 35 (3), 222–228. <https://doi.org/10.1134/S1875372814030044>.
- Esbensen K., 2005. Multivariate Data Analysis. Publishing House of Institute of Problems of Chemical Physics RAS, Chernogolovka, 204 p. (in Russian) [Эсбенсен К. Анализ многомерных данных: Черногоровка: Изд-во Института проблем химической физики РАН, 2005. 204 с.].
- Gartsman B.I., Galanin A.A., 2011. Structural-hydrographic and morphometric analysis of river systems: Theoretical aspects. *Geography and Natural Resources* 32 (3), 226–234. <https://doi.org/10.1134/S1875372811030048>.
- Gleizer I.V., Kopaneva I.M., Rubleva E.A., 2006. Some aspects of the use of GIS for relief morphometric analysis. *Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences* (11), 143–146 (in Russian) [Глейзер И.В., Копанева И.М., Рублева Е.А. Некоторые аспекты использования ГИС-технологий при морфометрическом анализе рельефа // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2006. № 11. С. 143–146].
- Gubareva T.S., 2012. Classification of river basins and hydrological regionalization (as exemplified by Japan). *Geography and Natural Resources* 33 (1), 74–82. <https://doi.org/10.1134/S187537281201012X>.
- Kashchavtseva A.Y., Shipulin V.D., 2011. Modeling of river basins by ArcGIS 9.3. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Geography* 24 (3), 85–92 (in Russian) [Кашавцева А.Ю., Шипулин В.Д. Моделирование речных бассейнов средствами ArcGIS 9.3 // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24. № 3. С. 85–92].
- Korytny L.M., 1984. Morphometric characteristics of the river basin. *Geografiya i Prirodnye Resursy (Geography and Natural Resources)* (3), 105–112 (in Russian) [Корытный Л.М. Морфометрические характеристики речного бассейна // География и природные ресурсы. 1984. № 3. С. 105–112].
- Krupkin P.I., 2007. Land typification as a basis of adaptive landscape systems of agriculture. *Bulletin of the Altai State Agrarian University* (5), 22–26 (in Russian) [Крупкин П.И. Типизация земель – основа адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. № 5. С. 22–26].
- Lastochkin A.N., 1991. Earth Surface Relief (Principles and Methods of Static Geomorphology). Nedra, Leningrad, 340 p. (in Russian) [Ласточкин А.Н. Рельеф земной поверхности (Принципы и методы статической геоморфологии). Л.: Недра, 1991. 340 с.].
- Mahmood S.A., Gloaguen R., 2012. Appraisal of active tectonics in Hindu Kush: Insights from DEM derived geomorphic indices and drainage analysis. *Geoscience Frontiers* 3 (4), 407–428. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.12.002>.
- Maltsev K.A., Sharifullin A.G., 2017. Morphological typology of small catchments in river basins on cultivated plains. *Geomorfologiya (Geomorphology)* (3), 76–87 (in Russian) [Мальцев К.А., Шарифуллин А.Г. Морфологическая классификация малых водосборов в речных бассейнах освоенных равнин // Геоморфология. 2017. № 3. С. 76–87]. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2017-3-76-87>.
- Mineev A.L., Kutinov Y.G., Chistova Z.B., Polyakova E.V., 2017. Geoecological zoning of the territory of the Arkhangelsk region using digital elevation models and GIS technologies. *Prostranstvo i Vremya (Space and Time)* (2-3-4), 267–288 (in Russian) [Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В. Геоэкологическое районирование территории Архангельской области с использованием цифровых моделей рельефа и ГИС-технологий // Пространство и Время. 2017. № 2-3-4. С. 267–288]. Available from: [https://space-time.ru/space-time/article/view/2226-7271provst\\_st2\\_3\\_4-28\\_29\\_30.2017.92](https://space-time.ru/space-time/article/view/2226-7271provst_st2_3_4-28_29_30.2017.92).
- Morozov A.F. (Ed.), 2000. Map of Tectonic Zoning of Russia. Scale: 1:5000000. Geokart, Moscow (in Russian) [Тектоническое районирование России. Масштаб: 1:5000000 / Ред. А.Ф. Морозов. М.: Геокарт, 2000].
- Pennock D.J., Zebarth B.J., De Jong E., 1987. Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada. *Geoderma* 40 (3–4), 297–315. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(87\)90040-1](https://doi.org/10.1016/0016-7061(87)90040-1).
- Pogorelov A.V., Dumit J.A., 2009. Topography of the Kuban River Basin: Morphological Analysis. GEOS, Moscow, 218 p. (in Russian) [Погорелов А.В., Думит Ж.А. Рельеф бассейна р. Кубани: морфологический анализ. М.: ГЕОС, 2009. 218 с.].
- Polyakova E.V., Gafarov M.Y., 2014. Morphometric relief analysis of Vaygach Island by Earth remote sensing data. *Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space* 11 (1), 226–234 (in Russian) [Полякова Е.В., Гофаров М.Ю. Морфометрический анализ рельефа острова Вайгач по данным дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 226–234].

- Repkin V.R., Lubyshchev A.V., Krasnoshchekov A.N., Pronina E.L., 2017. Geomorphic basis for the formation of the structure of Klyazma river basin. *Natural and Technical Sciences* (12), 157–161 (in Russian) [Репкин В.В., Любишева А.В., Краснощечков А.Н., Пронина Е.Л. Геоморфологические основы формирования структуры бассейна реки Клязьма // *Естественные и технические науки*. 2017. № 12. С. 157–161].
- Rulev A.S., Yuferov V.G., 2016. Landscape-geomorphological analysis of metacholine “small Sirt – Caspian depression” using GIS technologies. *Bulletin of Volgograd State University. Series 11. Natural Sciences* (4), 58–67 (in Russian) [Рулев А.С., Юферов В.Г. Ландшафтно-геоморфологический анализ мезоэкотона «Малый Сырт – Прикаспийская низменность» с применением ГИС-технологий // *Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные науки*. 2016. № 4. С. 58–67].
- Samofalova I.A., Shutov P.S., 2017. Geosystems-basin approach as the basis for the study of soil cover structure. *Bulletin of Altai State Agricultural University* (1), 49–57 (in Russian) [Самофалова И.А., Шутов П.С. Геосистемно-бассейновый подход как основа изучения структуры почвенного покрова // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2017. № 1. С. 49–57].
- Simonov Y.G., 1998. Morphometric Analysis of the Relief. Publishing House of Smolensk State University, Moscow–Smolensk, 272 p. (in Russian) [Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. Москва–Смоленск: Изд-во Смоленского государственного университета, 1998. 272 с.].
- Sladkopezvtsev S.A., 1973. The Development of the River Valleys and Neotectonics. Nedra, Moscow, 132 p. (in Russian) [Сладкопезцев С.А. Развитие речных долин и неотектоника. М.: Недра, 1973. 132 с.].
- Smirnova L.G., Narozhnaya A.G., Kozhushky A.A., 2015. Typing river basin in Belgorod region by morphometric characteristics of the relief for the assessment of erosion risk at the regional level. *Achievements of Science and Technology of AIC* 29 (12), 66–69 (in Russian) [Смирнова Л.Г., Нарожняя А.Г., Кожушков А.А. Типизация бассейнов Белгородской области по морфометрическим характеристикам рельефа для оценки эрозионной опасности на региональном уровне // *Достижения науки и техники АПК*. 2015. Т. 29. № 12. С. 66–69].
- Sreedevi P.D., Subrahmanyam K., Ahmed S., 2005. The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. *Environmental Geology* 47 (3), 412–420. <https://doi.org/10.1007/s00254-004-1166-1>.
- Trifonova T.A., 1994. Model of mountain catchment basin development. *Priroda (Nature)* (2), 106–119 (in Russian) [Трифонова Т.А. Модель развития горного водосборного бассейна // *Природа*. 1994. № 2. С. 106–119].
- Trifonova T.A., 1999. Formation of the soil mantle in mountains: the geosystem aspect. *Eurasian Soil Science* 32 (2), 150–156.
- Trifonova T.A., 2005. Development of a basin approach in pedological and ecological studies. *Eurasian Soil Science* 38 (9), 931–937.
- Trifonova T.A., 2008. River drainage basin as a self-organizing natural geosystem. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya* (1), 28–36 (in Russian) [Трифонова Т.А. Речной водосборный бассейн как самоорганизующаяся природная геосистема // *Известия РАН. Серия географическая*. 2008. № 1. С. 28–36].
- Trifonova T.A., Mishchenko N.V., Krasnoshchekov A.N., 2005. Geographic Information Systems and Remote Sensing in Environmental Studies. Academic Project Publishing House, Moscow, 352 p. (in Russian) [Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Краснощечков А.Н. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. М.: Академический проект, 2005. 352 с.].
- Trifonova T.A., Mishchenko N.V., Selivanova N.V., Chesnokova S.M., Repkin R.V., 2009. Basin Approach in Environmental Studies. Vladimir, 80 p (in Russian) [Трифонова Т.А., Мищенко Н.В., Селиванова Н.В., Чеснокова С.М., Репкин В.В. Бассейновый подход в экологических исследованиях. Владимир, 2009. 80 с.].
- Varalakshmi V., 2015. Morphometric analysis of the Catchments of Himayatsagar and Osmansagar Reservoirs – Hyderabad. *Engineering and Scientific International Journal* 2 (1), 4–8.
- Vasiliev D.N., Trifonova T.A., 1999. Features of river basin modeling. In: T.A. Trifonova (Ed.), *Ecology of river basins. Abstracts of International scientific conference. Vladimiriinformekotsentr, Vladimir*, p. 115–117 (in Russian) [Васильев Д.Н., Трифонова Т.А. Особенности моделирования речного бассейна // *Экология речных бассейнов: Материалы Международной научно-практической конференции* / Ред. Т.А. Трифонова. Владимир: Владимиринформэкоцентр, 1999. С. 115–117].
- Vlasova A.N., 2012. Application of GIS technologies in the allocation of positional-dynamic structure of basin areas (on the example of Crimea). *Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions* 8 (1–2), 56–61 (in Russian) [Власова А.Н. Применение ГИС-технологий при выделении позиционно-динамической структуры бассейновых территорий (на примере Крыма) // *Геополитика и экогеодинамика регионов*. 2012. Т. 8. № 1–2. С. 56–61].
- Vodolazskaya V.P., Teterin I.P., Kirillov V.A., Lukyanova L.I., Petrov G.A., Stefanov V.V., Morozov G.G., Zhdanov A.V., Zhiganov A.V., Stryapunina V.E., Eskin A.G., Petrova T.A., Verbitsky I.B., Verbitskaya N.V., 2015. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Ural Series. Sheet O-40-Perm. Explanatory note. VSEGEI, Saint Petersburg, 497 p. (in Russian) [Водолазская В.П., Тетерин И.П., Кириллов В.А., Лукьянова Л.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист O-40 – Пермь. Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. 497 с.].
- Waikar M.L., Nilawar A.P., 2014. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system: a case study. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research* 2, 179–184.

Ward Jr. J.H., 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58 (301), 236–244.

Zevenbergen L.W., Thorne C.R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms* 12 (1), 47–56. <https://doi.org/10.1002/esp.3290120107>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT AUTHORS

---

### **Татьяна Анатольевна Трифонова**

докт. биол. наук, профессор

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
119991, Москва, Ленинские Горы, 1, Россия

Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых  
600000, Владимир, ул. Горького, 87, Россия

✉ e-mail: [tatrifon@mail.ru](mailto:tatrifon@mail.ru)

### **Tatiana A. Trifonova**

Doctor of Biology, Professor

M.V. Lomonosov Moscow State University  
1 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir State University  
87 Gorky street, Vladimir 600000, Russia

### **Павел Сергеевич Шутов**

аспирант

Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых  
600000, Владимир, ул. Горького, 87, Россия

e-mail: [pav.shutov59@mail.ru](mailto:pav.shutov59@mail.ru)

### **Pavel S. Shutov**

Postgraduate Student

A.G. and N.G. Stoletovs Vladimir State University  
87 Gorky street, Vladimir 600000, Russia