

ГЕОГРАФИЯ

А.М. Жихарев, О.И. Жихарева

УЧЕТ ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО СВОЕОБРАЗИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КЛАССИФИКАЦИИ МАЛЫХ РЕК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

(на примере северо-востока Ярославского Верхневолжья)

Разрабатывается вариант классификации малых рек с позиции переменных, территориально зависимых количественных значений классификационных критериев как отражение естественной природной структурированности речной сети конкретной территории с математической оценкой достоверности полученных результатов.

Ключевые слова: извилистость водотока, ландшафт, малая река, падение русла, речная сеть, речная система.

A.M. Zhikharev, O.I. Zhikhareva

ACCOUNT DISPLAY OF NATURAL-TERRITORIAL ORIGINALITY AT WORKING OUT CLASSIFICATION OF SMALL RIVERS WITH THE HELP OF MATHEMATICAL ANALYSIS METHODS

(on the example of the North-East of Yaroslavl Verhnevolzhje)

The variant of classification of the small rivers from a position of variable, territorially dependent quantitative values of classification criteria as reflection of natural structure of a river network of concrete territory with a mathematical estimation of reliability of the received results is developed.

Keywords: tortuosity of a water-current, landscape, the small river, falling of a channe, river network, river system.

Структурная иерархия водотоков

Малые реки являются наиболее многочисленным классом водных объектов, исследования которых в последнее время приобретают всё большее значение.

Их распространённость, тесная взаимосвязь с местными природными условиями и высокая степень зависимости от антропогенного воздействия обусловили определяющую роль малых рек в формировании природно-экологической ситуации не только в пределах собственных водосборов, но и на значительно более крупных территориях.

Очень часто малые реки и их бассейны находятся в сфере прямого и косвенного воздействия хозяйственной деятельности различной направленности и масштаба, нередко вызывающей их негативные изменения, в том числе и необратимые. В этих условиях возникает необходимость регламентации мероприятий, затрагивающих малые реки и их бассейны, что в свою очередь требует изучения и учёта как индивидуальных природно-экологических особенностей каждого водотока, так и региональной специфики их отдельных категорий.

Совершенно очевидно, что огромное количество и природно-экологическое разнообразие водотоков если и не исключают возможности их полной инвентаризации, то делают её невыгодной (с точки зрения затрат времени и средств).

В этих условиях особое значение приобретает чёткая классификация малых рек, позволяющая по ряду доступных и легко измеряемых или рассчитываемых параметров верно определить особенности каждой из них, а следовательно, и соответствующий комплекс интересующих мероприятий. Существующие подходы к классификации рек обладают рядом недостатков, существенно снижающих в определенных случаях теоретическую и прикладную ценность этих классификаций. Это и их неоднозначность (в силу которой один водоток может быть отнесён к разным категориям), и отсутствие четко определённых границ отдельных категорий или же их условность, ведущие к тем же последствиям, и региональный универсализм характеристик выделяемых таксо-

нов, и недостаточное внимание к классификации именно малых рек, не говоря уже о том, что сама эта категория в большей степени выделяется на основе качественных критериев.

До настоящего времени практически не разрабатывался вопрос количественного отражения региональной природной специфики гидрологических и экологических характеристик одноранговых таксономических единиц классификационной системы водотоков.

Таким образом, проблема разработки классификации водотоков с переменными территориально зависимыми границами одноранговых таксонов обладает достаточной новизной.

«Внутренняя» классификация малых рек, отражающая объективную гидрологическую и экологическую общность отдельных групп рек, наблюдающуюся в пределах конкретной территории или в пределах какого-либо типа территории, является одним из слабо проработанных вопросов в гидрологии и приобретает всё большую значимость в плане обеспечения возможностей решения прежде всего практических задач.

Возможность отражения особенностей водотоков различных категорий с учётом природно-территориального своеобразия обусловлена их генетической, структурной и функциональной сопряжённостью как с отдельными компонентами природных систем, так и с ландшафтом в целом.

Малые реки являются одним из важнейших элементов ландшафта. Они обладают рядом важных для ландшафта (системообразующих) свойств, но в то же время и сами являются своего рода «продуктом» ландшафтных особенностей территории. Причем отражение этих особенностей проявляется как на уровне отдельного водотока или их определённого ранга, так и на более высоком структурном уровне – уровне речной сети.

В свою очередь, как природные характеристики, так и их сочетания для любой территории представляют собой достаточно определённые, более или менее выраженные и в то же время в известной степени обособленные природные системы или комплексы: ландшафты, ценозы, геоморфологические поверхности и другие (причём на любом уровне рассмотрения – от мега- и макро- до микро- и наноуровня), а не бесконечно-постепенный ряд переходов их характеристик, состояний и облика.

Таким образом, вполне логично предположить, что такая структурированность природных комплексов и природных систем любого уровня естественным образом должна найти отражение и в структуре речной сети как производной геолого-геоморфологических, климатических и экологических условий определённой территории.

Реки как природные объекты интересны тем, что, образуя единую систему (речную сеть) и являясь «зеркалом ландшафта», встречаются практически в любом его типе, причём не просто «пронизывают» природно-территориальные комплексы разных уровней и порядков, а вполне им соразмерны. Иными словами, практически в каждом типе (уровне) природно-территориальных комплексов, будь то фация, урочище, физико-географическая область, провинция, страна или иная структурно-территориальная единица, наряду с транзитными по отношению к этому комплексу водотоками существует часть единой речной сети, образованная водотоками, сопоставимыми с этими единицами по масштабу.

Именно эти водотоки и будут наиболее тесно связаны (в гидрологическом, морфометрическом и экологическом плане) со структурно-территориальной единицей данного уровня и в этом смысле являться её «лицом». Они должны образовывать группы, характеризующиеся близким значением ряда показателей и обособленные заметным снижением частоты встречаемости водотоков с промежуточными для смежных групп значениями этих показателей. Существование такой зависимости, когда ранг водотока рассматривается как функция ранга природно-территориального комплекса или иной структурно-территориальной единицы, обусловлено внешними факторами, определяющими своеобразие водотока, то есть совокупностью природных условий территории, а возможность её изучения – взаимообусловленностью динамических (скорость, характер течения), морфологических (характер русла, мезоформы), морфометрических (длина, уклон, извилистость) и режимных параметров водотока.

Формирование речной сети какой-либо территории в определённой степени является случайным процессом и зависит от огромного числа сложным образом сочетающихся факторов. Поэтому любые исследования, даже высокого уровня, как, например, системный анализ, проводящиеся только на основе качественной оценки, не могут считаться в полной мере законченными до тех пор, пока и сам процесс обработки данных и их анализ не будет опираться на математические методы, а достоверность их результатов не будет оценена с математических позиций. Этим обу-

словлена необходимость «математизации» практически каждого этапа исследований в сфере классификации малых рек. Поэтому математико-статистические методы, как наиболее надёжный способ работы, позволяющий к тому же оперировать и количественными характеристиками, можно рассматривать как инструмент, позволяющий успешно решить эту проблему, а главным же условием, обеспечивающим возможность разработки такой классификации, является одно из основных свойств природы – структурная неоднородность природных систем и их составляющих.

Как и любая другая, разработка классификации водотоков с учётом проявления в них региональной специфики требует в первую очередь решения вопроса о выборе классификационных критериев. С одной стороны, они должны обладать достаточной «чувствительностью» к местным особенностям речной сети, то есть отражать зависимость параметров водотоков от природных условий территории, а с другой – быть доступными, то есть не составлять проблемы поиска по отношению к большому количеству разнообразных, в том числе и самых «рядовых» (незначительных) водотоков.

Этим требованиям вполне удовлетворяют морфометрические характеристики, то есть величины, количественно выражающие особенности формы и размеров водотоков или их отдельных элементов. Они сравнительно легко определяются по топографическим материалам, при непосредственном измерении, или же путём элементарных расчетов, а также указываются в государственном водном кадастре и гидрологических ежегодниках. Полнота охвата этими характеристиками гидросети исследуемой территории определяется прежде всего разрешающей способностью картографических материалов.

Являясь количественными, морфометрические характеристики в известной степени снимают проблему условности (неопределённости) границ отдельных категорий водотоков, обеспечивая большую четкость и однозначность их выделения.

Естественный характер классификации на основе морфометрических характеристик обусловлен тем, что морфометрия рек с полным основанием может рассматриваться как производная природных условий и особенностей конкретной территории – в первую очередь геоморфологических, климатических и экологических. В этом смысле морфометрия водотоков является количественным выражением качественных особенностей гидросети.

Кроме того, математизация исследования, имеющая целью повышение достоверности его результатов, предопределяет необходимость использования четких количественных оценок. И морфометрия водотоков в данном случае выступает как связующее звено между физической (природной) сущностью оснований классификации и отвлечённым (абстрактным) математическим аппаратом её реализации.

Изучение возможности отражения региональной специфики малых рек в их классификации на основе морфометрических характеристик базировалось на данных, полученных по северо-восточной части территории Ярославского Верхневолжья. Исследованием охвачены 223 водотока длиной от 200 м до 50 км (44,9 км), по которым были определены такие параметры, как длина реки (L), извилистость (k), падение (Δh) и уклон (i). Полностью были изучены речные системы двух рек северо-востока Ярославского Верхневолжья – Соты и Касти. Необходимая полнота исходных данных обеспечена комплексом картометрических работ, с использованием топокарт полукилометрового и километрового масштабов, а также топографического атласа Ярославской области. Измерение длин водотоков осуществлялось малым раствором циркуля-измерителя, падение определялось по изолиниям и отметкам урезов, а извилистость и уклон рассчитывались математически.

Допущение, что в условиях незначительного территориального охвата и, следовательно, климатической однородности территории, а также сравнительно небольшой интервал длин исследуемых водотоков позволили рассматривать длину водотоков в прямой зависимости от их водности и дали таким образом основание использовать длину водотока как основной, наиболее легко определяемый идентификационный параметр (признак) категории, с которым тесно связаны другие морфометрические характеристики.

Обработка данных и анализ результатов строился на привлечении методов математической статистики и таких разделов математического анализа, как одномерный, дисперсионный и кластерный анализ. Методология последнего определила общую логику исследования.

Методика кластер-анализа предполагает осуществление ряда типовых операций, сводящихся в конечном итоге к созданию особым образом структурированного дискретного математического множества. Итоговый набор элементов множества, то есть групп водотоков (таблица 1), и наи-

более вероятное (приближённое к реальности) их соотношение или иерархия (схема 1) выявились в результате кластер-анализа по методу ближайшего соседа и методу полного сцепления связи.

Однако любая полученная таким образом иерархическая схема, не являясь единственно возможной, требует оценки достоверности выявленных соотношений.

Решение данной задачи предполагает два уровня (этапа) работы: расчёт достоверности выделения иерархических групп водотоков с помощью статистических критериев и учёт наиболее достоверных с точки зрения сохранения физического смысла комбинаций элементов множества (то есть категорий водотоков) в пределах «пространства исследовательской свободы». В математическом отношении эта проверка реализуется через выяснение двух моментов – степени выраженности (обособленности) каждого таксона на фоне общей выборки и наиболее значимых морфометрических параметров, это отличие обусловивших, во-первых, и уровня статистической значимости (достоверности) различия соседних (в первую очередь) одноуровневых таксонов между собой, во-вторых.

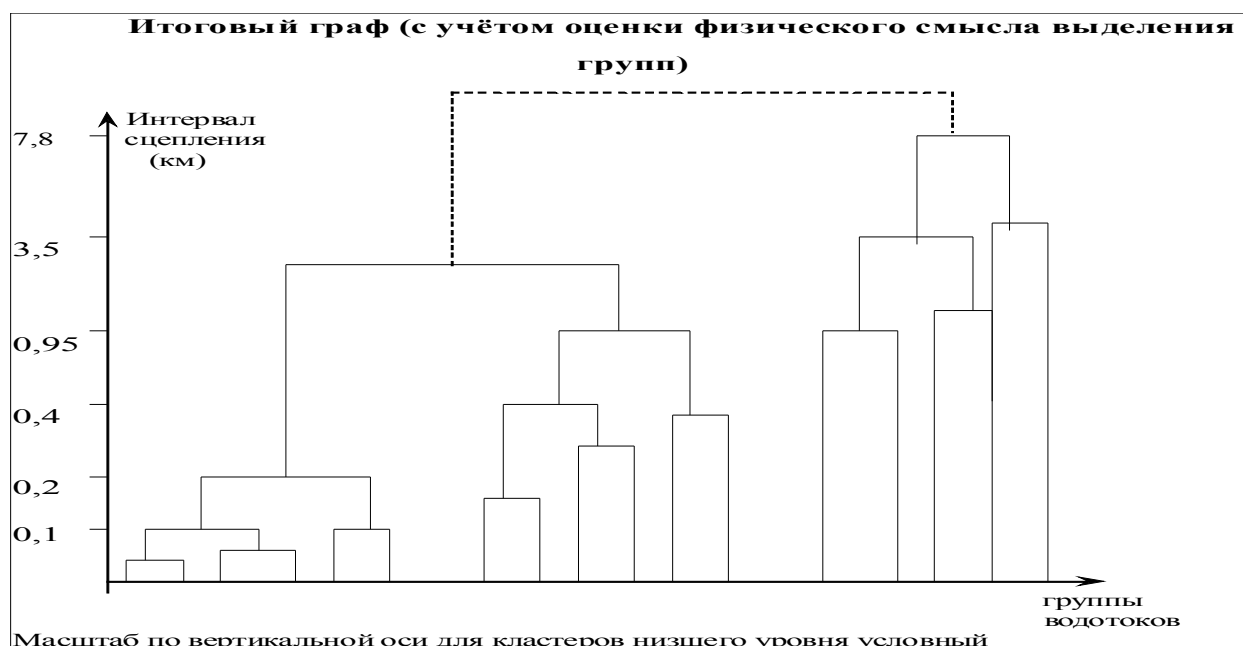
Для проверки использовались такие параметрические и непараметрические статистические критерии, как t-критерий Стьюдента, Z-критерий, угловое преобразование Фишера (ϕ^* -критерий) и U-критерий Манна – Уитни.

Таблица 1

Группы водотоков низшего таксономического уровня при возрастающем интервале объединения

№г р	ΔL , км	Граничные значения длин групп водотоков	Интервал сцепления, км
1	0,3	0 – 0,3	
			0,1
2	3,0	0,4 – 3,4	
			0,2
3	1,04	3,6 – 4,64	
			0,3
4	2,2	4,9 – 7,1	
			0,4
5	0,98	7,5 – 8,48	
			0,95
6	5,2	9,4 – 14,6	
			3,0
7	2,4	17,6 – 20,0	
			3,35
8	7,3	26,3 – 34,03	
			7,8
9	10,9 1	34,03 – 44,94	
			10,95

Схема 1



I–IV – иерархические уровни

1–9 – группы водотоков низшего таксономического уровня

Сопоставление степени совпадения результатов, полученных по разным критериям для различных групп водотоков (или пар сравниваемых групп), позволило, во-первых оценить чувствительность различных критериев, использованных для проверки статистических гипотез; во-вторых, выяснить роль отдельных морфометрических параметров в обособлении и разделении между собой отдельных групп водотоков; и в-третьих, определить достоверность и правомерность выделения отдельных групп водотоков как самостоятельных таксонов и таким образом уточнить очерёдность и логику объединения групп водотоков более низких таксономических уровней в таксоны более высокого уровня.

В итоге выяснилось, что среди критериев наибольшей чувствительностью обладает F^* -критерий Фишера (даёт наибольшее количество совпадений при выделении одних и тех же групп по разным морфометрическим параметрам). Наименьшей чувствительностью из использованных обладает U-критерий Манна-Уитни, однако именно поэтому те редкие результаты сравнений, которые по этому критерию выделились как значимые, в первую очередь могут приниматься как достоверные, тем более что не противоречат таковым, рассчитанным по другим статистическим критериям.

Анализ роли отдельных морфометрических параметров в обособлении групп водотоков даёт аналогичный по разным способам оценки результат, то есть степень совпадения результатов как в качественном, так и в количественном отношении довольно высока и заметно возрастает с ростом ранга анализируемых групп водотоков. Можно утверждать, что относительная роль морфометрических параметров при объединении водотоков в группы и при разграничении этих групп между собой различна. Если при объединении отдельных водотоков в группы первое место по частоте встречаемости параметра принадлежит падению, второе коэффициенту извилистости, а третье уклону, то при разделении групп уклон выходит на первое место по значимости, падение занимает второе место, а коэффициент извилистости – третье. Очевидной оказалась также и разница в той роли, которую играют морфометрические параметры в обособлении уже выделенных групп различного таксономического уровня. Наиболее общим («сквозным») параметром при выделении групп является уклон, хотя и не занимает при этом ведущего места, роль же падения и коэффициента извилистости полярно меняется при переходе от одного таксономического уровня к другому. При разделении же групп роль «сквозного» параметра выполняет коэффициент извилистости, опять же не играя ведущей роли, которая за исключением третьего таксономического уровня принадлежит уклону.

Данные результатов математической оценки статистической достоверности выделения отдельных групп водотоков свидетельствуют о довольно высокой в целом значимости выявленных различий (0,95 – 0,99) и подтверждают, таким образом, статистическую правомерность выде-

ления отмеченных групп. В то же время уровень самостоятельности отдельных групп, под которым можно подразумевать количество морфометрических параметров, по которым одновременно выделяется группа, а также доверительный уровень по каждому из них – различен. Общая закономерность заключается в том, что с ростом таксономического уровня отдельной группы уровень её самостоятельности заметно выше. Нет ни одной группы и ни одного их сопоставления на предмет выявления различий, статистическая достоверность которых не подтверждалась бы хотя бы одним из использованных критериев оценки. Это иногда усложняет выяснение иерархических приоритетов при проверке правильности построения таксономической схемы и требует привлечения дополнительных оснований каждого конкретного решения.

Обобщение материала позволяет считать полученную таксономическую структуру статистически достоверной.

В итоге, как показала математическая обработка данных, все исследованные водотоки образуют группы, находящиеся в определённых иерархических соотношениях, характеризующихся своего рода ритмикой, то есть повторяемостью принципа образования высших иерархических групп из низших, который, несмотря на намеренные попытки его изменения в силу возникающего впечатления надуманности, тем не менее, устойчиво проявляется (подтверждается) при математической проверке.

В пределах изученного массива рек выделилось четыре полных (законченных) иерархических уровня и один неполный, образованных двумя циклами повторяющегося принципа объединения с полным завершением этих циклов на третьем и возможно пятом уровнях. Это даёт основание рассматривать третий и пятый как стержневые или главные таксономические уровни. При этом третий уровень является как бы логическим завершением классификационной схемы, разработанной для изученного массива рек, в то время как пятый уровень может рассматриваться как часть (начало) иерархического древа, включающего и более крупные водотоки.

Таким образом, по крайней мере, до третьего таксономического уровня логика объединения водотоков в группы кластеры или таксоны является вполне обоснованной как с математической, так и с географической точек зрения (поэтому последующая характеристика таксонов ограничивается именно таксонами до третьего иерархического уровня (включительно)).

Библиографический список

1. Бочаров, М.К. Методы математической статистики в географии [Текст] / М.К. Бочаров. – М.: Мысль, 1971.
2. Государственный стандарт 19179-73 [Текст] / Гидрология суши, термины и определения. – 1979.
3. Колбовский, Е.Ю. История и экология ландшафтов Ярославского Поволжья [Текст] / Е.Ю. Колбовский. – Ярославль: ЯГПУ, 1993.
4. Маккавеев, Н.И. Эрозионно-аккумулятивные процессы и рельеф русла реки, [Текст] / Н.И. Маккавеев // Избранные труды. – М.: МГУ, 1998.
5. Пузаченко, Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях [Текст] / Ю.Г. Пузаченко. – М.: Академия, 2004.
6. Рохмистров, В.Л. Физико-географические закономерности распределения речной сети Ярославского Нечерноземья [Текст] / В.Л. Рохмистров, С.С. Наумов // Географические аспекты рационального природопользования в Верхневолжском Нечерноземье. – Ярославль: ЯГПИ, 1984.
7. Сидоренко, Е.В. Методы математической обработки в психологии [Текст] / Е.В. Сидоренко. – СПб: Речь, 2001.