

СТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БАССЕЙНОВ РЕК ПРОВИНЦИИ МАНАБИ (ЭКВАДОР)

Антонио Фермин Кампос Седеньо¹,
Е.К. Синиченко¹, И.И. Грицук^{1,2}

¹Российский университет дружбы народов
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

²Институт водных проблем РАН
ул. Губкина, 3, Москва, Россия, 119333

В статье представлен анализ нескольких методов структурного подхода для расчета морфометрических и гидрологических характеристик речных сетей и водосборных бассейнов, на которых базируется их гидрографическое районирование. На основе рассмотренных методов оценивается индекс компактности и густота речных сетей для бассейнов рек провинции Манаби (Эквадор).

Ключевые слова: гидрология, водосборный бассейн, речные сети, индекс компактности, густота речных сетей.

Методы классификации речных систем и водосборных бассейнов. Водосборные бассейны изучались с древних времен, но научный подход с применением системного анализа для оценки запасов воды в речной сети впервые был применен в начале XX в., когда в 1914 г. Гарри Гравелюс, немецкий географ и климатолог, ввел систему для классификации водных речных сетей. В рамках этой системы он предложил, что главная река должна иметь *порядок 1*. Каждое ответвление от реки *1-го порядка*, классифицируется *2-м порядком*. На рис. 1 показаны речная сеть и водосборные бассейны Эквадора. Притоки ко *2-му порядку* классифицируются *3-м порядком* и т.д. (рис. 2).

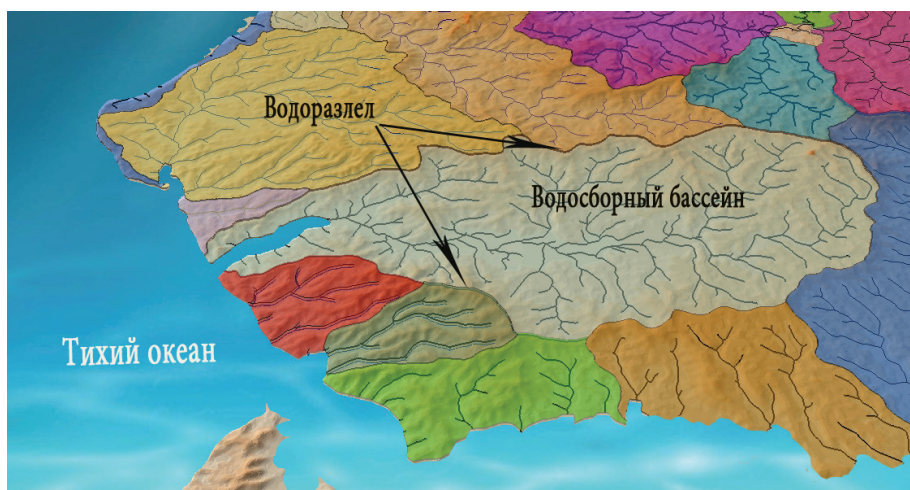


Рис. 1. Речная сеть и водосборные бассейны

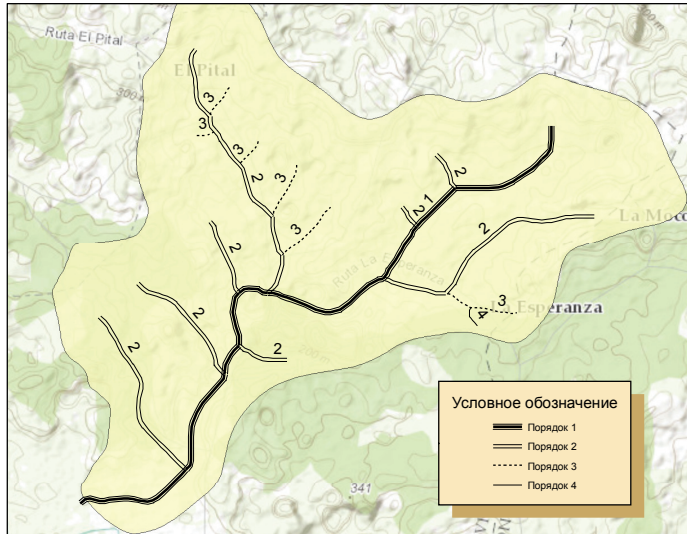


Рис. 2. Монотомическая схема изменения порядков реки по Гравелюсу (1914)

Позднее был предложен ряд примерно равноценных моделей строения речной сети. В основе всех моделей лежит деление сети по ярусам или порядкам приточности. За водотоки первого порядка принимают элементарные неразветвленные русла, получающие воду непосредственно со склонов. Водотоки первого порядка, сливаясь, дают начало руслам второго порядка, слияния последних образуют русла третьего порядка и т.д. Считают, что русла одного порядка имеют близкие гидравлические, гидрологические и морфометрические характеристики, которые взаимосвязаны и отражают особенности водотоков (рек) данного порядка. Водоток n -го порядка есть элемент системы — некоторый отрезок общей протяженности реки.

Роберт Хортон, американский ученый и эколог, в 1945 г. предложил дихотомическую схему (обратный порядок) системных компонентов речной сети [7]. По этой системе автор принимает за длину реки каждого данного класса ее протяженность от слияния с другой рекой этого же или более высокого класса вверх до истока (рис. 3) [1].

В отличие от Хортона, в 1952 г. русский ученый Н.А. Ржаницын [1; 2] предложил схему, являющуюся как бы промежуточной между монотомической и дихотомической и учитывающую существенное влияние на изменение порядка реки непосредственно притоков первого порядка; он определяет длину потока каждого данного порядка только как отрезок между потоками смежных классов. Он считал, что два притока, сливаясь вместе, образуют третью реку, которая по своим характеристикам является совершенно новым русловым истоком и не может быть продолжением одной из старых (рис. 4) [3]. Когда поток низкого порядка достигает потока высшего порядка, он не влияет на его текущий порядок. Метод Н.А. Ржаницына значительно облегчает кодирование речных сетей. В предполагаемом исследовании водного режима рек провинции Монаби (Эквадор), имеющем гидро-

логическое направление, будет принята схема порядков потоков Н.А. Ржаницына, как наиболее полно отражающая системный принцип гидрологической структуры речной сети.

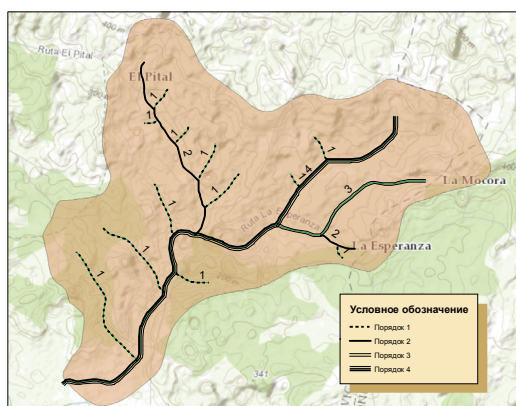


Рис. 3. Система обозначения дренажной сети по Хортону (1945)

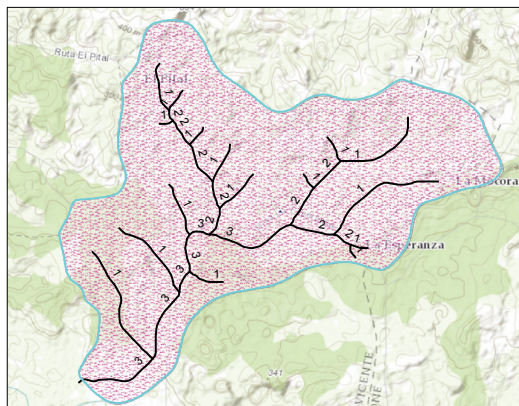


Рис. 4. Система обозначения дренажной сети по Ржаницыну (1952)

Следует подчеркнуть, что под порядковым номером потока понимается не просто цифровое обозначение участка реки, а речной поток, обладающий определенными физическими характеристиками, определенным комплексом этих характеристик. Именно эти взаимосвязанные между собой характеристики в их комплексе и определяют данный участок реки.

В 1965 г. появилась система Адриана Шейдеггера (рис. 5). Для нумерации потоков он выбрал только четные цифры. Первое наименование — порядок «2» для участков, где начинается поток, следующий порядок — «4», на слиянии двух потоков порядка «2»; следующие порядки были получены как сумма порядков сливающихся рек вверх по течению. В 1966 г. возникла модель Шрове, которая, по сути, была та же, что и схема Шейдеггера, но нумерация потоков в ней начинается с порядка «1» (рис. 6).

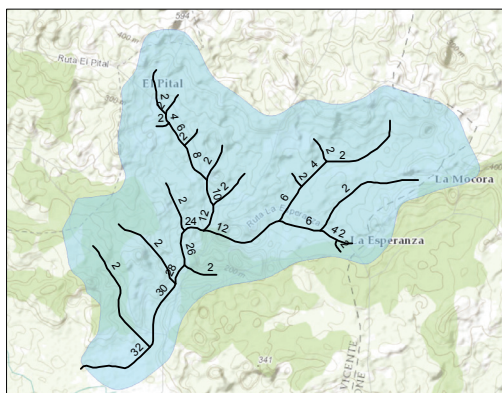


Рис. 5. Система обозначения дренажной сети по Шейдеггеру (1965)

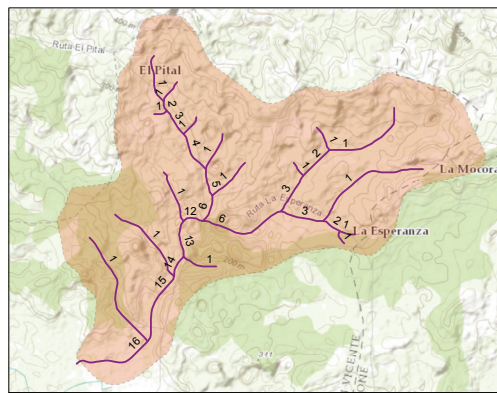


Рис. 6. Система обозначения дренажной сети по Шрове (1966)

Формулы для числа водотоков:

по Р. Хортону:

$$N_n = K_3^{n-1},$$

где N_n — число водотоков n -го порядка в речной системе m -го порядка; K_3 — гидрографический параметр (коэффициент бифуркации);

по А. Шейдеггерду:

$$n = 1 + \log_2 N_1 = 1 + 3,32 \cdot \log N_1;$$

для равнинных рек степной и лесостепной зон среднее значение $K_3 = 2,80$;

по Н.А. Ржаницыну: математическое выражение, отражающее полученные закономерности изменения числа потоков с изменением порядка потока:

$$n_{N_a} = n_1 \cdot K_n^{[N-(N_a+1)]},$$

где n_{N_a} — число потоков N_a порядка в речной сети N порядка; N_a — порядок потока; N — порядок речной сети; n_1 — число потоков N_a порядка в речной сети порядка $N_a + 1$;

величина n_1 приближенно может быть определена формулой

$$n_1 = 1 + 0,077 [15 - (N_a + 1)];$$

по А.Н. Бефани:

$$N_n = \frac{K_3^{m+1-n} + K_3 - 2}{2(K_3 - 1)}.$$

Одним из последних методов для классификации речных систем водосборов является метод, предложенный бразильским ученым Отто Пфафстеттером в 1989 г. Этот метод был принят в качестве международного стандарта в 1997 г. Геологической службой США (USGS) [5]. По этому методу классифицируются водосборные площади водотоков речных систем с присвоением им определенного международного идентификатора (id).

Процесс ранжирования площадей водосбора независимо от их размеров подразделяется максимум на десять частей. Для этого необходимо идентифицировать главную реку и ее четыре самых крупных притока. Эти реки образуют четыре водосбора и именуется *бассейнами*, они кодируются вверх по течению с четными числами (2, 4, 6 и 8). Оставшиеся притоки группируются и называются *интер-бассейнами* (межбассейнами) с кодировкой нечетными числами (1, 3, 5, 7 и 9), порядок наименования тот же, что и для бассейнов, т.е. от устья до верховья. Если существуют в водосборе зоны озерного типа, самую большую из них кодируют числом нуль (0) — зоны этого класса именуется *внутренними бассейнами* (рис. 7). По этой системе название водосбора совпадает с названием главной реки.

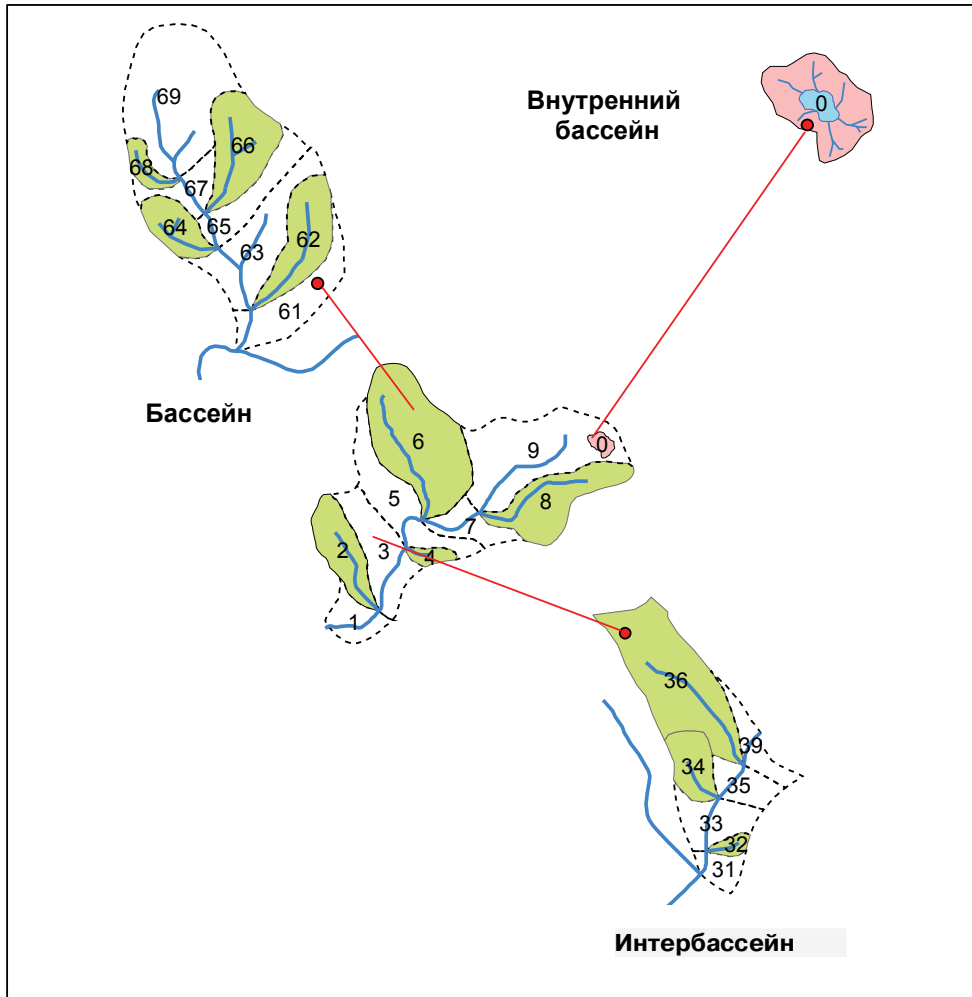


Рис. 7. Система обозначения дренажной сети по Пфафстеттеру (1989)

Оценка морфометрических параметров гидрографической сети провинции Манаби. Оценка информации проводилась по картам, в формате шейп (.shp) (рис. 8, 9), разработанных Военно-географическим институтом Эквадора (INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR DEL ECUADOR) [4], оцифрованных в масштабе 1 : 50 000, и классификацией бассейнов гидрографической демаркации Манаби (таблица), предложенной в соответствии с методологией Пфафстеттера на уровне 5, разработанной Национальным секретариатом по воде (SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA) [6].

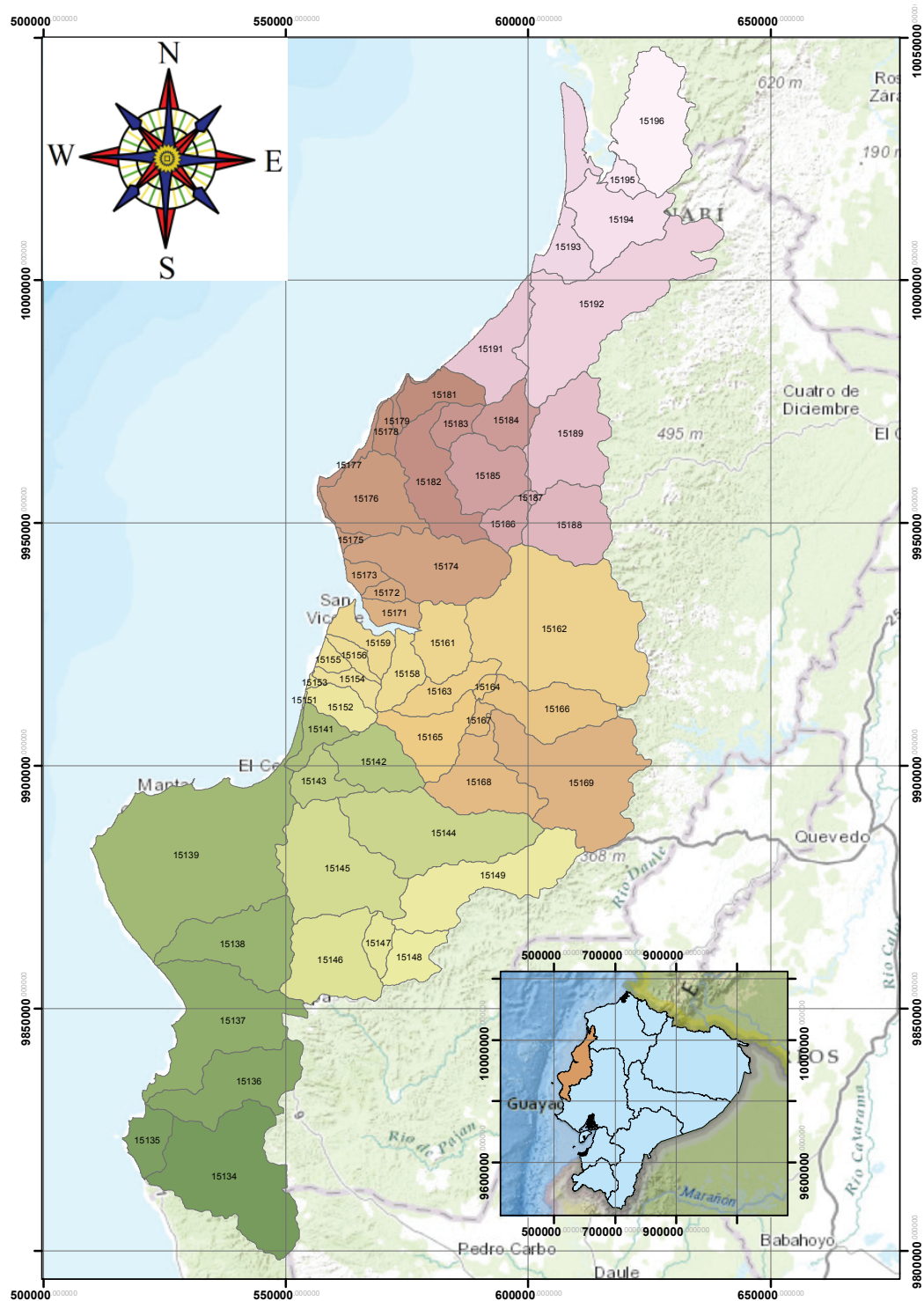


Рис. 8. Водосборные бассейны гидрографической демаркации Манаби

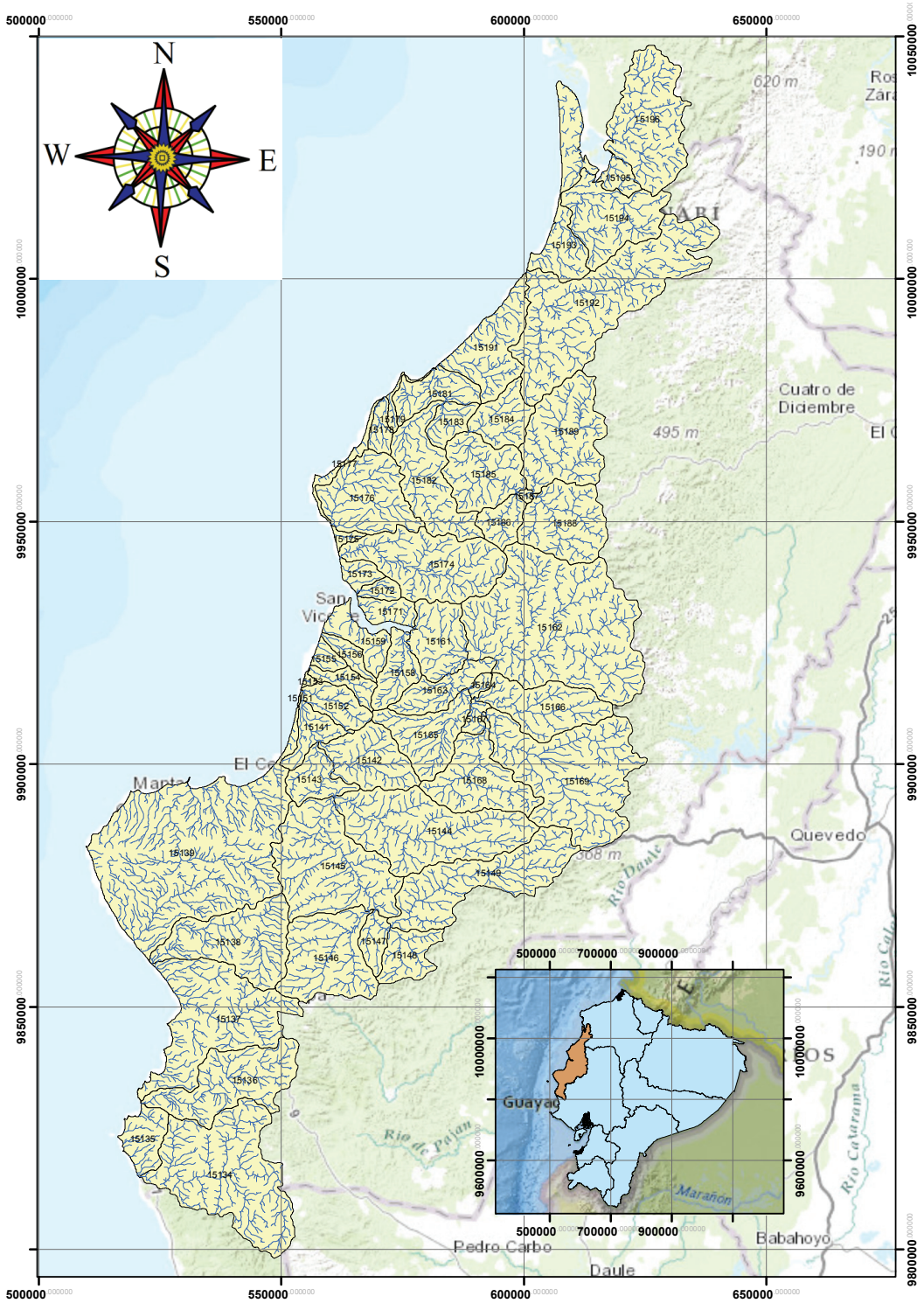


Рис. 9. Речная сеть гидрографической демаркации Манаби

**Морфометрические параметры
водосборных бассейнов гидрографической демаркации Манаби**

№	Код бассейна	Периметр бассейна P , км	Площадь бассейна A , км ²	Число потоков n	Общая длина потоков L_s , км	Показатель Гравелюса I_s , км/км	Густота речной сети D , км/км ²
1	15134	123,74	554,45	395	444,67	1,47	0,80
2	15135	45,32	96,10	59	73,72	1,29	0,77
3	15136	98,44	296,30	204	234,10	1,60	0,79
4	15137	132,44	457,26	300	358,13	1,73	0,78
5	15138	89,13	311,34	242	277,10	1,41	0,89
6	15139	180,16	1 046,42	683	886,88	1,56	0,85
7	15141	49,87	75,51	54	71,75	1,61	0,95
8	15142	62,37	185,46	132	149,90	1,28	0,81
9	15143	49,89	96,65	79	90,31	1,42	0,93
10	15144	108,33	467,14	351	361,79	1,40	0,77
11	15145	102,59	441,38	331	354,76	1,37	0,80
12	15146	79,60	293,06	207	209,63	1,30	0,72
13	15147	33,95	56,76	39	46,42	1,26	0,82
14	15148	50,53	106,09	81	80,95	1,37	0,76
15	15149	114,25	358,90	259	280,55	1,69	0,78
16	15151	7,56	1,45	1	0,51	1,76	0,35
17	15152	41,16	87,78	77	71,48	1,23	0,81
18	15153	12,52	5,48	3	1,82	1,50	0,33
19	15154	41,52	51,62	38	36,96	1,62	0,72
20	15155	23,64	29,45	8	21,33	1,22	0,72
21	15156	34,13	38,57	17	26,68	1,54	0,69
22	15158	47,24	96,47	59	68,98	1,35	0,72
23	15159	52,10	86,39	49	54,47	1,57	0,63
24	15161	55,23	157,97	83	101,82	1,23	0,64
25	15162	135,26	847,72	629	632,37	1,30	0,75
26	15163	60,37	110,63	93	106,10	1,61	0,96
27	15164	17,46	15,15	5	14,33	1,26	0,95
28	15165	67,97	180,93	124	163,69	1,41	0,90
29	15166	74,06	214,25	162	156,77	1,42	0,73
30	15167	25,62	25,37	30	36,84	1,42	1,45
31	15168	84,89	239,22	182	187,09	1,54	0,78
32	15169	129,13	546,53	377	406,57	1,55	0,74
33	15171	34,61	55,38	36	39,39	1,30	0,71
34	15172	23,46	30,01	15	24,18	1,20	0,81
35	15173	27,90	39,14	23	30,21	1,25	0,77
36	15174	91,88	351,02	264	287,70	1,37	0,82
37	15175	21,44	14,40	7	7,59	1,58	0,53
38	15176	72,82	251,59	145	200,94	1,29	0,80
39	15177	71,41	31,55	7	6,79	3,56	0,22
40	15178	30,03	41,04	31	36,64	1,31	0,89
41	15179	45,46	17,10	9	11,79	3,08	0,69
42	15181	55,32	113,88	84	102,57	1,45	0,90
43	15182	93,93	243,75	169	186,87	1,68	0,77
44	15183	36,17	62,70	40	54,56	1,28	0,87
45	15184	47,86	116,10	89	82,63	1,24	0,71
46	15185	60,83	205,79	152	166,08	1,19	0,81
47	15186	36,03	73,98	56	55,80	1,17	0,75
48	15187	11,01	6,92	7	6,80	1,17	0,98
49	15188	63,03	237,40	209	185,57	1,15	0,78
50	15189	82,36	311,55	248	243,27	1,31	0,78
51	15191	79,46	213,52	145	164,32	1,52	0,77

Окончание

№	Код бассейна	Периметр бассейна P , км	Площадь бассейна A , км ²	Число потоков n	Общая длина потоков L_s , км	Показатель Гравелюса I_s , км/км	Густота речной сети D_s , км/км ²
52	15192	158,88	647,97	476	488,64	1,75	0,75
53	15193	118,22	199,17	129	144,33	2,35	0,72
54	15194	83,93	249,32	176	201,71	1,49	0,81
55	15195	33,91	42,21	30	38,78	1,46	0,92
56	15196	91,27	343,95	295	270,03	1,38	0,79
ИТОГ			11 477,26	8 195,00	9 045,66		

Все системы, предложенные для классификации водосборных бассейнов — Гравелюса, Хортона, Страхлера, Ржаницына, Шейдегера, Шрове, Пфафстеттера и других авторов, очень важны. С одной стороны, они логически предоставляют решение проблем своего времени, а с другой — служат основой для разработки последующих систем. Тем не менее в связи с простотой применения метод Н.А. Ржаницына наиболее широко применяется, как имеющий гидрологические направление и наиболее полно отражающий системный принцип гидрологической структуры речной сети.

Предлагаемая система Пфафстеттера распространяется по всему миру и в настоящее время принята большинством стран Латинской Америки. Новизна этой системы заключается в том, что каждый речных сетей, но и предоставляет информацию об их географическом положении.

Гидрографическая демаркация Манаби состоит из 56 водосборных бассейнов, определенных на уровне 5 в соответствии с методологией Пфафстеттера. В целом, общая площадь демаркации составляет 11 477,26 км² (рис. 8). Речная система демаркации состоит из 8195,00 потоков, общая длина которых примерно составляет 9045,66 км.

Индекс компактности водосборов колеблется между 1,15 и 3,56, что указывает на разнообразие форм водосборных бассейнов.

Густота речных сетей колеблется в пределах от 0,22 до 1,45 км/км², что характеризует их неравномерность на водосборных бассейнах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Орлов В.Г. Основы физической гидрографии. — Ленинград: Ленинградский гидрометеорологический институт, 1979. [Orlov V.G. Osnovy fizicheskoy gidrografii. — Leningrad: Leningradskij gidrometeorologicheskij institut, 1979.]
- [2] Ржаницын Н.А. Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. — Ленинград: Гидрометеоздат, 1960. [Rzhanicyn N.A. Morfologicheskie i gidrologicheskie zakonomernosti stroeniya rechnoj seti. — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1960.]
- [3] Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы естественных рек. — Л.: Гидрометиздат, 1985. — 300 с. [Rzhanicyn N.A. Rusloformiruyushhie processy estestvennyx rek. — L.: Gidrometizdat, 1985. — 300 s.]

- [4] Синиченко Е.К. Характеристики водного режима малых рек и по-токов // Сб. трудов «Результаты исследования речных русел и гидротехнических сооружений». — М.: УДН, 1983. — С. 77—86. [Sinichenko E.K. *Xarakteristiki vodnogo rezhima malyx rek i potokov* // Sb. trudov «Rezultaty issledovaniya rechnyx rusel i gidrotexnicheskix sooruzhenij». — М.: UDN, 1983. — S. 77—86.]
- [5] Instituto Geografico Militar, 'Cartografía del Ecuador', Instituto Geografico Militar del Ecuador, (2014). — URL: <<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>> [Accessed June 3th 2014].
- [6] Pfafstetter O. *Classificação de bacias hidrográficas — Metodologia de codificação* (Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989).
- [6] Secretaria Nacional del Agua, 'Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador. Metodología Pfafstetter', (Quito: Secretaria Nacional del Agua, 2009).
- [7] Strahler A.N. *Dynamic basis of geomorphology* (Geological Society of America, 1952).

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION PARAMETERS OF RIVER BASIN OF MANABI (ECUADOR)

Antonio Fermin Campos Cedeno (Ecuador)¹,
E.K. Sinichenko¹, I.I. Gritsuk^{1,2}

¹Peoples' Friendship University of Russia
Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

²Water Problems Institute
Russian Academy of Science
Gubkina str., 3, Moscow, Russia, 119333

This paper presents an analysis of several methods so far developed to characterize the drainage networks of watersheds, indicating their relevant properties. On the other hand, is elaborated an extract of certain laws, on which the watershed morphometry is based to characterize the drainage potential of watersheds. Finally, based on the proposed framework, is performed the estimation of compactness index and river density of Manabi watersheds, as important input to the design of hydraulic works in the province of Manabi and Ecuador related to the management of watersheds.

Key words: hydrology, drainage basin, basin laws, compactness index, river density.