

Сведения об авторах**About the authors****Камышев Арсений Андреевич**

магистрант кафедры гидрологии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; 119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1;

Arsenii A. Kamyshev

Master's Student, Department of Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; Leninskie gory, Moscow, GSP-1, 119991, Russia;

e-mail: arsenii.kamyshev@yandex.ru

Рулёва Светлана Николаевна

кандидат географических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ им. В.М. Ломоносова; 119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1;

Svetlana N. Ruliova

Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; Leninskie gory, Moscow, GSP-1, 119991, Russia;

e-mail: mnks1@yandex.ru

Чалов Роман Сергеевич

доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши, заведующий Научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; 119991, Россия, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1;

Roman S. Chalov

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Department of Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; Leninskie gory, Moscow, GSP-1, 119991, Russia;

e-mail: rschalov@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Камышев А.А., Рулёва С.Н., Чалов Р.С. Рассредоточение стока воды в разветвлениях русла средней Оби // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №3(42). С. 48–53. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-48-53

Please cite this article in English as:

Kamyshev A.A., Ruliova S.N., Chalov R.S. Water flow spreading in the braided reach of the Ob river // Geographical bulletin. 2017. № 3(42). P. 48–53. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-48-53

УДК 556.5.01

А.П. Лепихин

К АНАЛИЗУ СТРУКТУРЫ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

*Лаборатория проблем гидрологии суши ГИ УрО РАН,
Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь*

Достаточно традиционным подходом для гидрографии является установление и анализ специфических различий в характере и структуре водосборных бассейнов, обусловленных различием географических условий. Но может быть и другой подход – анализ характерных общих особенностей в структуре рассматриваемых водных объектов. В данной работе предпринята попытка выявления данных общих специфических особенностей и установления механизмов их формирования. На основе анализа имеющихся данных по распределению количества рек, их длин L и площадей

водосборов F по отдельным регионам России получена степенная зависимость $L \sim k * F^\beta$. В американской научной литературе подобные зависимости при $\beta \sim 0,6$ получили наименования закона *Наск*. Данный характер зависимостей подтверждается многочисленными как зарубежными, так и отечественными публикациями. Так как характер данных зависимостей инвариантен относительно физико-географических условий конкретных водосборов, он должен определяться фундаментальными физическими механизмами. Данный характер зависимости $L \sim k * F^\beta$ достаточно хорошо объясняется в теории фракталов Мандельброта. При этом сами данные численные значения параметра фрактальной размерности d , соответственно, и параметра β достаточно хорошо объясняются, как показал *A. Hunt*, в рамках теории перколяции. Согласно этой теории при выполнении равенства $\beta \sim 0,6$ дренажная сеть при прочих равных условиях характеризуется наименьшим сопротивлением, наименьшими потерями энергии.

Ключевые слова: гидрографическая сеть, фрактальность, закон *Наск*, перколяция.

A.P. Lepikhin

ANALYSIS OF THE HYDROGRAPHIC NETWORKS STRUCTURE

*Laboratory of Problems of Land Hydrology, Mining Institute UB RAS,
Perm State University, Perm*

A traditional approach for hydrography is the establishment and analysis of specific differences in the character and structure of the catchment basins, due to the difference in geographic conditions. However, there may be another approach - an analysis of the characteristic common features in the structure of the water bodies under consideration. In this paper, an attempt is made to identify these general specific features and establish the mechanisms for their formation. Based on the analysis of available data on the distribution of the number of rivers, their lengths L and catchment areas F in different regions of Russia, power dependence $L \sim k * F^\beta$ was obtained. In American scientific literature, such dependencies for $\beta \sim 0.6$ have been given the name of the Hask law. This character of dependencies is confirmed by numerous both foreign and domestic publications. Since the nature of these dependencies is invariant with respect to the physiographic conditions of particular catchments, it must be determined by fundamental physical mechanisms. This character of the $L \sim k * F^\beta$ dependence is fairly well explained in the Mandelbrot fractal theory. Moreover, the numerical values of the fractal dimension parameter d and the parameter β , respectively, are explained quite well, as *A. Hunt* showed, within the framework of the percolation theory. According to this theory, if the equality $\beta \sim 0.6$ is satisfied, the drainage network is characterized by the least resistance and the lowest energy losses, other things being equal.

Key words: hydrographic network, fractality, Hask law, percolation.

doi 10.17072/2079-7877-2017-3-53-60

Введение

Математические модели в настоящее время становятся важным инструментарием в решении задач гидрологии, водного хозяйства. Однако каждая модель, как отмечает Г.И. Баренблатт [1], основана на определенной идеализации. При этом принципиальное значение имеет использование корректных инструментов при описании характерных особенностей природных объектов. Поиск адекватных инструментов для описания природных объектов и явлений – процесс далеко не односторонний, когда выбираются наиболее подходящие технологии из уже разработанных в математике. Иногда наблюдается и обратный процесс, когда поиск инструментов, позволяющих описывать специфические особенности природных объектов, стимулирует развитие принципиально новых разделов математики.

Из попытки объяснения парадокса результатов, полученных при попытке измерения протяженности побережий Англии, Австралии, длины р. Висла с использованием более детальных карт, была создана геометрия объектов с дробной размерностью [2; 3]. Данные разработки позволяют показать важность использования адекватных методов описания даже в такой специфической области, как гидрография.

В гидрологии одним из базовых и фундаментальных понятий, играющих существенную роль в формировании расчетных зависимостей стока с водосборов, является топологическая структура этих водосборов, в первую очередь, зависимость площади водосбора от длины водотока.

Достаточно традиционным подходом для гидрографии является установление и анализ специфических различий в характере и структуре водосборных бассейнов, обуславливаемых различием географических условий. Но может быть и другой подход – анализ характерных общих особенностей в структуре рассматриваемых водных объектов. В данной работе предпринята попытка выявления данных общих специфических особенностей и установления механизмов их формирования.

Материалы и методы исследования

Несмотря на то, что установление характера связи площади водосбора от протяженности водотоков в достаточно широком диапазоне рассматриваемых параметров – очень трудоемкий и кропотливый процесс как в нашей стране, так и за рубежом выполнено достаточно большое количество оценок данных зависимостей.

Для территории России такая достаточно полная и тщательно выполненная оценка по данным [4; 5] представлена в работе [6] в виде таблицы.

Общие сведения о количестве рек России [6]

Градация водотоков по длине, км	Площадь водосборов для градаций, км ²	Количество рек				
		Европейская часть России	Сибирь и Дальний Восток	Всего по градациям	% рек от общего количества рек	% рек с длиной более 26 км
<10	<35	439075	2029130	2468205	94,9	–
10–25	36–177	20785	79663	100448	3,86	–
26–50	178–608	4573	16609	21182	0,81	65,4
51–100	609–2090	1829	5780	7609	0,29	23,5
101–200	2091–7180	631	1886	2517	0,097	7,77
201–300	7181–14800	137	432	569	0,022	1,76
301–500	14801–36600	62	251	313	0,012	0,97
501–1000	36601–126890	37	130	167	0,007	0,5
>1000	>126890	11	40	51	0,002	0,1
Всего по градациям		467140	2133921	2601061	100	–

Проведя обработку представленных в таблице данных, получим следующие зависимости (рис. 1–3).

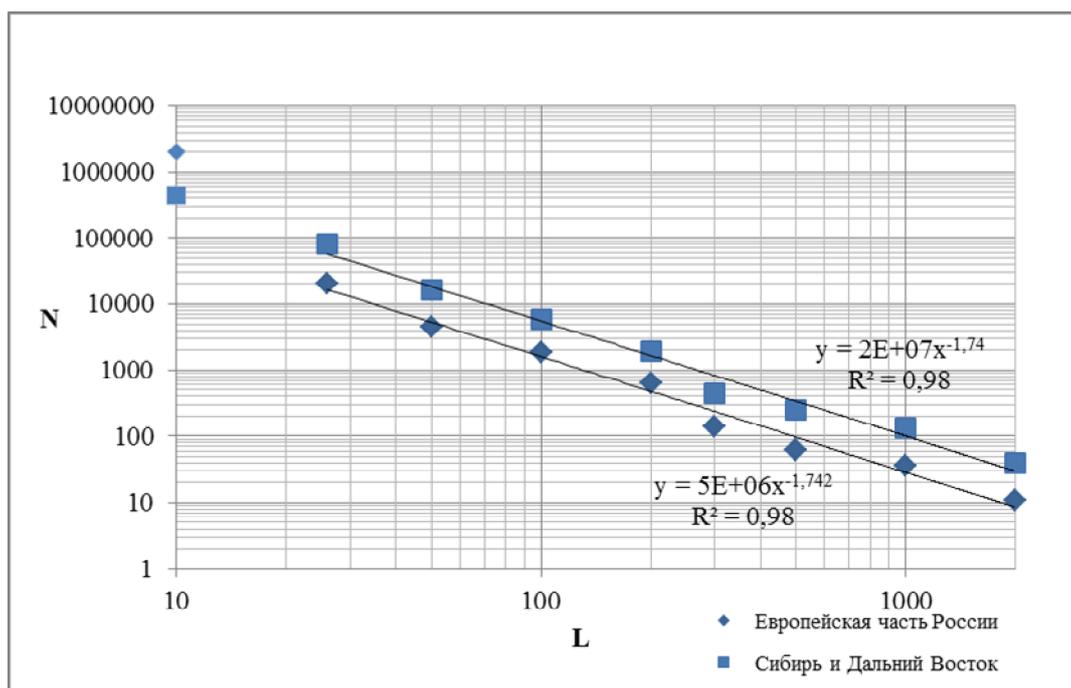


Рис. 1. Распределение общего количества рек РФ по длине водотоков

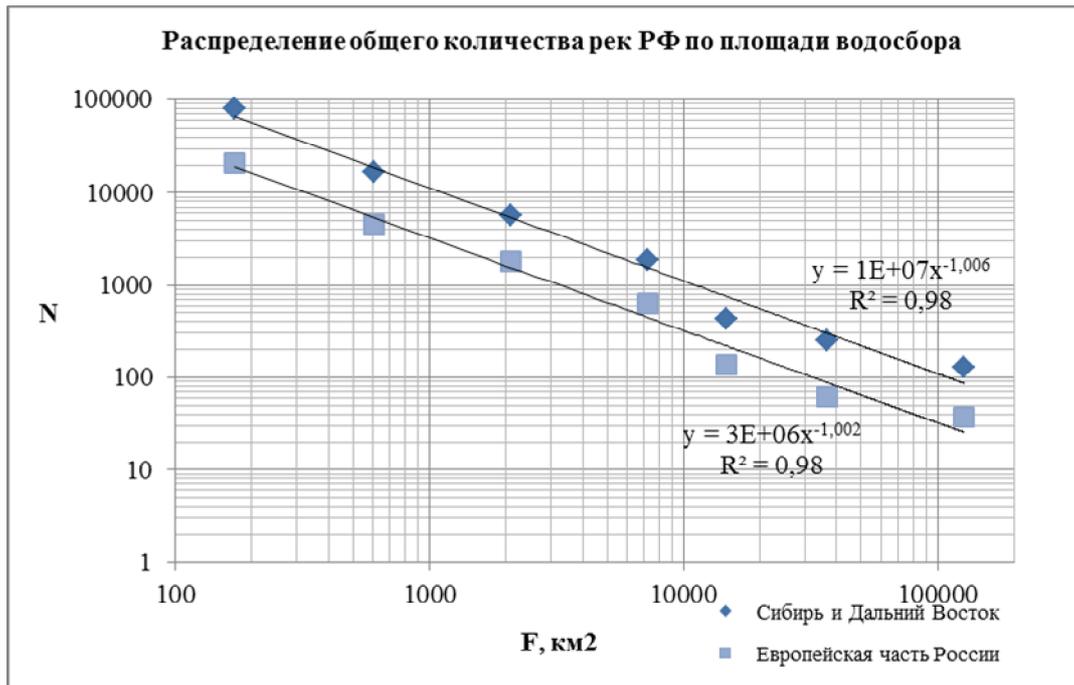
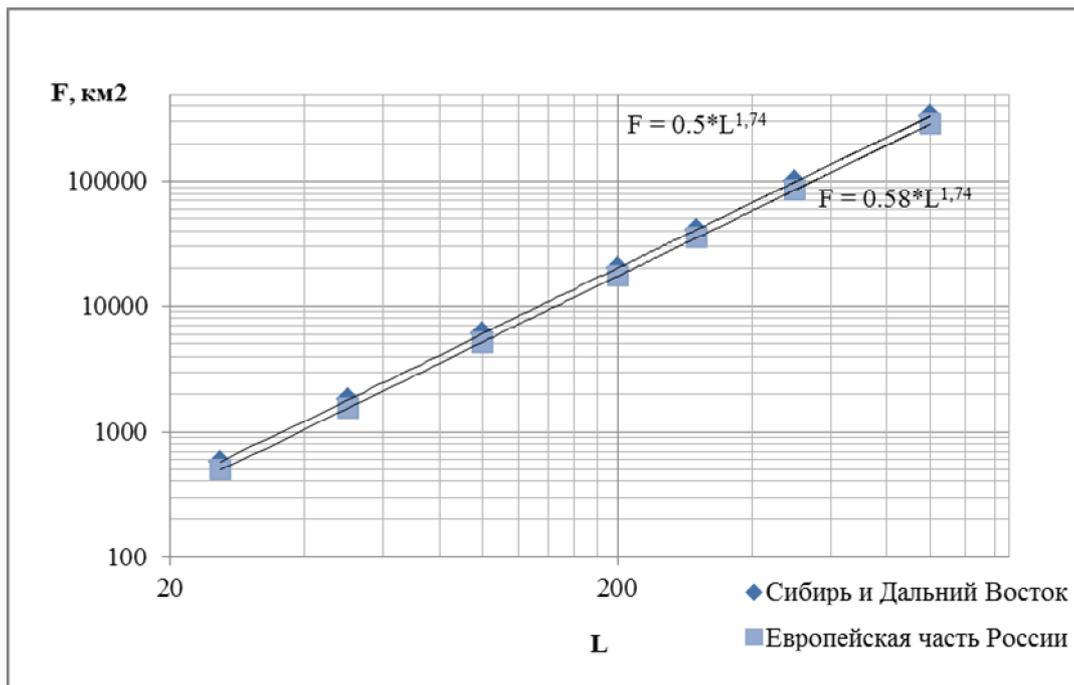


Рис. 2. Распределение общего количества рек РФ по площади водосбора

Рис. 3. Зависимость площади водосбора F от длины водотоков L для отдельных регионов территории России

Как следует из рис. 3, характер зависимостей $F(L) \sim f(L)$ для всей территории России имеет степенной характер

$$F \sim m * L^{\alpha} \quad (1)$$

с показателем степени $\alpha \sim 1,74$. При этом их различия могут быть объяснены погрешностью расчетов. Соответствующие обратные зависимости будут иметь следующий вид:

$$L \sim k * F^{\beta}, \quad (2)$$

при этом

$$k = \left(\frac{1}{m}\right)^{\frac{1}{\alpha}}, \alpha=1/\beta. \quad (3)$$

Для Европейской территории страны, соответственно, имеем

$$L \sim 1,37 * F^{0.575}, \quad (4)$$

а для Сибири и Дальнего Востока

$$L \sim 1,49 * F^{0.575}. \quad (5)$$

Так как зависимость $L \sim k * F^\beta$ с $\beta \sim 0,58$ с высокой надежностью выполняется для различных территорий в очень широком диапазоне значений L , то, по-видимому, сам характер данных зависимостей инвариантен относительно физико-географических условий конкретных водосборов и определяется фундаментальными физическими механизмами.

Результаты и их обсуждение

Одними из первых на степенной характер связи (2) при $\beta \geq 1/2$, $\beta \sim 0,6$ обратили внимание Taylor и Schwarz еще в 1952 г. [7]. После публикации J.T. Hack [8] в 1957 г., где он достаточно детально рассмотрел характер этих связей и дал возможное их объяснение, зависимость типа (5) при $\beta=1/\alpha=0,6$ получила в американской литературе наименование закона Hack. D. Gray в своей докторской диссертации [9] доказал устойчивость этой зависимости в масштабе семи порядков (рис. 4).

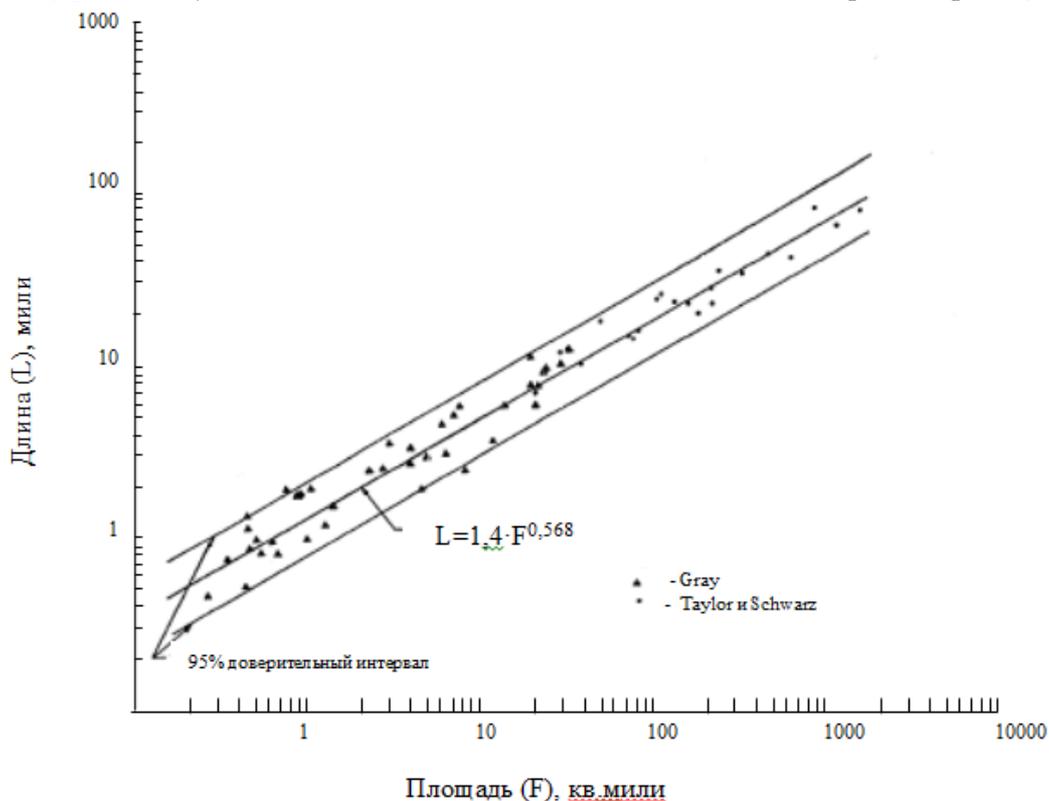


Рис. 4. Зависимость площади водосбора от длины водотока по данным [8]

Как видно из рис. 3 и рис. 4, зависимости, построенные по совершенно не связанным между собой исходным данным, полученным по различным территориям, весьма близки. Результаты D. Gray [9] были подтверждены J.E. Mueller [10] при анализе водосборов площадей от 10^{-2} до 10^5 км². Анализ выполненного закона Hack на основе значительно более современных данных описан в работе Willemijn [11]. Из отечественных исследователей следует отметить А.В. Сикана [12], который установил степенной характер зависимости (2) при $\alpha = 0,55$. Р.Е. Нежиховский [13] выявил на достаточно обширном материале на территории СССР зависимость $F \sim 0,58 * L^{1.78}$. А.М. Догановский, В.Г. Орлов [14] для рек бассейна р. Дон получили зависимость $L \sim 1,41 * F^{0.58}$.

В то же время, исходя из традиционных представлений Евклидовой геометрии, следовало бы ожидать, что площадь водосбора $F \sim L^2$, где L – длина реки.

Наск [15] данный парадокс пытался объяснить следствием удлинения водосборных бассейнов с увеличением их размера. Однако D.R. Montgomery и W.E. Dietrich [15] на основе детального анализа речных бассейнов в масштабе 7 порядков показали, что $P \sim F^{0.5}$, где P – длина бассейна.

Для объяснения парадокса Б. Мандельброт [16], используя данные D. Gray [9], еще в 1983 г. выдвинул гипотезу о том, что данные эффекты могут быть достаточно естественно объяснены в рамках теории фракталов. А.Т. Hjelmfelt [17] подтвердил эту гипотезу на основе анализа гидрографии 8 рек бассейна Миссури. Значительные исследования анализа фрактальности гидрографической сети выполнили R. Rosso, B. Vacchi [18], в отечественной литературе фрактальность гидрологических объектов впервые рассматривалась в работе [19], а по рекам Сибири – в [20].

Если протяженность реки L в общем случае представляет собой фрактал, при этом $L \sim P^d$, где $d \geq 1$ – фрактальная размерность, а P – линейная протяженность бассейна, то, соответственно, $L \sim P^{1/d}$, $L \sim F^{d/2}$, $F \sim L^{2/d}$.

Согласно оценкам [21] речные сети характеризуются фрактальной размерностью в пределах

$$1,13 \leq d \leq 1,21, \quad (6)$$

соответственно,

$$0,565 \leq d/2 \leq 0,605, \text{ а } \beta = 2/d, 1,65 \leq \alpha \leq 1,77. \quad (7)$$

Сами данные численные значения параметра фрактальной размерности d , а, соответственно, и параметра β достаточно хорошо объясняются, как показал А.Г. Нант [22], в рамках теории перколяции [23; 24]. Согласно этой теории при выполнении неравенства (7) дренажная сеть при прочих равных условиях характеризуется наименьшим сопротивлением, наименьшими потерями энергии.

Достаточно широко используемый для анализа структуры колебаний процессов различной природы, в том числе и гидрологических [25], параметр, называемый коэффициентом Херста H (при этом $H \sim 2-d$), имеет, по-видимому, глубокую связь с рассмотренным законом Хэка [7], так как характер зависимостей (1), (2) определяется фрактальностью гидрографической сети, и структура многолетних колебаний стока так же характеризуется фрактальностью.

Заключение

Структура гидрографических сетей, несмотря на очень существенные различия физико-географических условий подстилающей поверхности различных территорий, формируется под воздействием одних и тех же физических механизмов и имеет, в достаточно широких масштабах, фрактальную природу. Фрактальность гидрографической сети обуславливает степенной характер зависимости площади водосбора F от протяженности водотока L , при этом $F \sim m * L^\alpha$ или

$L \sim k * F^\beta$, где $k = \left(\frac{1}{m}\right)^{\frac{1}{\alpha}}$. Для территории России, соответственно, $m \sim 0,5-0,58$, $\alpha \sim 1,74$, $k \sim 1,37-1,49$,

$\beta \sim 0,575$. Данные значения расчетных параметров весьма близки к совершенно независимым оценкам, полученным по другим территориям. Установленные численные значения параметра α , а, соответственно, и β находят достаточно логичное объяснение в рамках современной теории перколяции.

Библиографический список

1. Баренблатт Г.И. Автомодельные явления – анализ размерностей и скейлинг. М.: Дом Интеллект, Долгопрудный, 2009. 215 с.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002. 656 с.
3. Балханов В.К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления. Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2013. 213 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность: спр. изд.: в 20 т. М.: Гидрометеоздат, 1963–1967.
5. Доманицкий А.П., Дубровина Р.Г., Исаева А.И. Реки и озера Советского Союза, справочные данные. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 103 с.
6. Виноградов А.Ю., Никифоровский А.А. Расчет максимального стока малых рек (на правах рукописи). СПб, 2015. URL: <http://www.npogts.ru> (дата обращения: 06.03.2017).

7. Taylor A.B., Schwarz W.I. Unit hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics. Trans. Am. Geophys. Union. 1952. V. 33. P. 235–246.
8. Hack J.T. Studies of longitudinal profiles in Virginia and Maryland. USGS Professional Papers 294-B. Washington DC, 1957/ P. 46–97.
9. Gray D. Derivation of hydrographs for small watershed from measurable physical characteristics // A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty in Partial Fulfillment of the Degree of doctor of philosophy Jow State University, 33 p., 1960. URL: <http://lib.dr.iastate.edu/rtd> (дата обращения: 06.03.2017).
10. Mueller J.E. Re-evaluation of the Relationship of Master Streams and Drainage Basins // Geological Society of America Bulletin. 1972. V.83. P. 3471–3447.
11. Willemijn J.H. Hack's law: Sinuosity, convexity, elongation, Water Resour.Res. 2000. V. 36. P. 3365–3374.
12. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2007. 278 с.
13. Гидрологические аспекты проблем территории перераспределения речного стока / под ред. Р.А. Нежиховского. М.: Гидрометеоздат, 1987. 136 с.
14. Догановский А.М., Орлов В.Г. Сборник практических задач по определению основных характеристик водных объектов суши: практикум по гидрологии. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2011. 315 с.
15. Montgomery D.R., Dietrich W.E. Channel initiation and the problem of landscape scale // Science. 1992. V. 255. P.826–830.
16. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. New York, 1983. 468 p.
17. Hjelmfelt A.T. Fractals and river-length catchment-area ratio // J. of the American Water Resources Association (JAWRA). 1988. V. 24(2). P.455–459.
18. Rosso R, Vacehi B. Fractal Relation of Mainstream length to Catchment Area in River Networks // Water Resources Research. 1997. V.27. №3. P.381–387.
19. Никора В.И. Фрактальные свойства некоторых гидрологических объектов. Кишинев, 1988. 200 с.
20. Мельник М.А. Фрактальный анализ извилистости рек (на примере Томской области) // Вестник Томского государственного университета. 2010 №335. С. 168–176.
21. Maritan A., Rinaldo A., Rigon R., Giacometti A., and Rodriguez-Iturbe I. Scaling laws for river networks, Phys. Rev. E., 1996. V.53. P.1510–1515.
22. Hunt A.G. Brifcommucation: Possible explanation of Lte values of Hack's drainage basin, river length scaling exponent // Nolin. Processes Geophys. 2016. V.23. P.91–93. URL: <http://www.nonlin-processes-geophys.net/23/91/2016> (дата обращения: 01.03.2017).
23. Stauffer D., Aharony A. Introduction to Percolation Theory, 2ndEdn., Taylor and Francis, London, 1994.
24. Hunt A.G., Ewing R.P., Ghanbarian B. Percolation Theory for Flow in Porous Media, 3rdEdn., Springer, Berlin, 2014.
25. Лепихин А.П., Перепелица Д.И. К применению показателя (коэффициента) Херста в гидрологии // Географический вестник = Geographical bulletin. 2016. №4(39). С. 36-44. doi 10.17072/2079-7877-2016-4-36-44.

References

1. Barenblatt, G.I. (2009), [Self-similar phenomena – dimensional analysis and scaling], Izd. House of Intellect, Dolgoprudny, Russia.
2. Mandelbrot, B. (2002), [Fractal geometry of nature], Institute for Computer Research, Moscow, Russia.
3. Balkhanov, V.K. (2013), [Fundamentals of fractal geometry and fractal calculus], BSU Publishing House, Ulan-Ude, Russia.
4. [Resources of surface waters of the USSR] (1963–1967), Hydrological study, Reference edition in 20 volumes. Moscow, Gidrometeoizdat, Russia.
5. Domanitsky, A.P., Dubrovina, R.G. and Isaeva, A.I. (1971), [The rivers and lakes of the Soviet Union] (Reference data), Gidrometeoizdat, Leningrad, USSR.
6. Vinogradov, A.Yu. and Nikiforovsky, A.A. (2015) Calculation of the maximum runoff of small rivers (on the rights of the manuscript), available at: <http://www.npogts.ru> (Accessed 06.03.2017).
7. Taylor A.B., Schwarz W.I. (1952), Unit hydrograph lag and peak flow related to basin characteristics. Trans. Am. Geophys. Union, , v. 33, pp.235–246.
8. Hack, J.T. (1957), Studies of longitudinal profiles in Virginia and Maryland. USGS Professional Papers 294-B, Washington DC, 46–97,

9. Gray D. (1960), Derivation of hydrographs for small watershed from measurable physical characteristics // A Dissertation Submitted to the Graduate Faculty in Partial Fulfillment of the Degree of doctor of philosophy Jow State University, 33 p.,. <http://lib.dr.iastate.edu/rtd>
10. Mueller J.E. (1972), Re-evaluation of the Relationship of Master Streams and Drainage Basins // Geological Society of America Bulletin, v.83, p.3471–3447.
11. Willemin, J.H. (2000), Hack's law: Sinuosity, convexity, elongation, Water Resour.Res., v.36, p.3365-3374.
12. Sikan, A.V. (2007), [Methods of statistical processing of hydrometeorological information], RSHU, St. Petersburg, Russia.
13. Nezhikhovskiy, R.A. (1987), [Hydrological aspects of the problems of the territory of redistribution of river flow] in Nezhikhovskiy, R.A. (ed.) *Gidrometeoizdat.*, 136 p.
14. Doganovsky, A.M. and Orlov, V.G. (2011), A compilation of practical tasks for determining the main characteristics of water bodies of the land (a workshop on hydrology), RSHU, St. Petersburg, Russia.
15. Montgomery, D.R. and Dietrich, W.E. (1992), Channel initiation and the problem of landscape scale // *Science*, v.255, pp.826–830.
16. Mandelbrot, B.B. (1983), *The Fractal Geometry of Nature*, New York, USA.
17. Hjelmfelt A.T. Fractals and river-length catchment-area ratio // *J. of the American Water Resources Association (JAWRA)*, v.24(2), 1988, p.455–459.
18. Rosso R, Bacehi B. (1997), Fractal Relation of Mainstream length to Catchment Area in River Networks // *Water Resources Research*, v.27, no. 3, pp.381–387.
19. Nikora, V.I. (1988), [Fractal properties of some hydrological objects], Chisinau.
20. Melnik, M.A. (2010), [Fractal analysis of the tortuosity of rivers (on the example of the Tomsk region)], *Bulletin of Tomsk State University*, no. 335, pp. 168–176.
21. Maritan A., Rinaldo A., Rigon R., Giacometti A., and Rodriguez-Iturbe I. (1996), Scaling laws for river networks, *Phys. Rev. E.*, vol.53, p.1510–1515.
22. Hunt A.G. Brifcommucation: Possible explanation of Lte values of Hack's drainage basin, river length scaling exponent // *Nolin. Processes Geophys*, 2016, v.23, p.91-93. www.nonlin-processes-geophys.net/23/91/2016
23. Stauffer, D. and Aharony, A. (1994), *Introduction to Percolation Theory*, 2ndEdn., Taylor and Francis, London,.
24. Hunt, A.G., Ewing, R.P., and Ghanbarian, B.: *Percolation Theory for Flow in Porous Media*, 3rdEdn., Springer, Berlin, 2014.
25. Lepikhin, A.P. and Perepelitsa, D.I. (2016), [To use index Hurst in hydrology], *Geographical bulletin*, no. 4(39). pp. 36–44. doi 10.17072/2079-7877-2016-4-36-44.

Поступила в редакцию: 06.04.2017

Сведения об авторе

Лепихин Анатолий Павлович

доктор географических наук, заведующий
Лабораторией проблем гидрологии суши ГИ УрО
РАН;
614007, Россия, Пермь, ул. Сибирская, 78А;
профессор кафедры гидрологии и охраны водных
ресурсов Пермского государственного
национального исследовательского университета;
614990, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15;

About the author

Anatoly P. Lepikhin

Doctor of Geographical Sciences, Head of the
Laboratory for Problems of Land Hydrology, Mining
Institute, Ural Division of the RAS;
78A, Sibirskaya str., Perm, 614007, Russia;
Professor, Department of Hydrology and Water
Resources Protection, Perm State University;
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia;

e-mail: Lepihin49@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Лепихин А.П. К анализу структуры гидрографических сетей // Географический вестник = Geographical bulletin. 2017. №3(42). С. 53–60. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-53-60

Please cite this article in English as:

Lepikhin A.P. Analysis of the hydrographic networks structure // Geographical bulletin. 2017. № 3(42). P. 53–60. doi 10.17072/2079-7877-2017-3-53-60

УДК 556.5

А.А. Шайдулина, С.А. Двинских
РЕЖИМ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ В РАЙОНЕ ПЕРЕМЕННОГО ПОДПОРА
КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

Водоохранилища являются искусственно созданными водными объектами, режим эксплуатации которых определяется на этапе строительства. В отличие от рек, движение воды в которых направлено от истока к устью и в основном обусловлено действием силы тяжести, здесь присутствуют разнообразные виды течений: стоковые, ветровые, компенсационные и др. На Камском водохранилище наиболее распространённые – стоковые и ветровые. Первые характерны для всех сезонов, а ветровые наблюдаются только в условиях открытого русла. Формирование стоковых течений обусловлено величиной притока в водохранилище и сбросом вод через створ его плотины.

Скорость стокового течения уменьшается по длине района переменного подпора от верховьев к концу. Это связано с уменьшением уклонов водной поверхности и проточности отдельных районов и участков. Также на распределение скоростей течения по длине района заметное влияние оказывают особенности морфометрии отдельных частей и режим регулирования уровня. В зависимости от колебания уровня происходит постоянное перемещение границы выклинивания подпора, что сказывается на гидравлическом режиме потока и режиме наносов. Анализ скоростного режима выполнен на основании ранее не опубликованных данных лаборатории комплексных исследований водохранилищ и данных полевых наблюдений 2016 г. с применением статистических методов. Дана оценка размывающей способности водного потока в навигационный период на основании рассчитанных величин критических скоростей.

Ключевые слова: водохранилище, скоростной режим, район переменного подпора.

A.A. Shaydulina, S.A. Dvinskikh
FLOW SPEED MODE IN THE VARIABLE BACKWATER AREA OF THE KAMA
RESERVOIR

Perm State University, Perm

Reservoirs are artificially created water bodies, the operation of which is determined at the stage of construction. Unlike rivers, the movement of water in which is directed from the source to the mouth, mostly due to gravity, there exist different types of flows: runoff, wind, compensation, etc. On the Kama reservoir, the most common are runoff and wind ones. The first are typical of all seasons, and the wind flows are only observed in the open channel. The formation of the runoff flows is caused by the reservoir inflow and water discharge through its site.

The runoff speed of the flow decreases along the length of the backwater area, from headwaters to the end. This is due to the reduction in the slope of the water surface and the flowage of certain areas and sites. Also, distribution of flow velocities along the length of the area is under a visible influence of the morphometry of individual parts and the mode of regulation. Depending on the level fluctuations, the boundary of the transient region constantly moves, which affects the hydraulic flow regime and mode of sediment transport. Analysis of the speed mode has been made based on previously unpublished data of the Laboratory for Complex Research of Reservoirs and the 2016 field data with statistical methods. The eroding ability of water flow in the navigation period has been estimated on the basis of the calculated values of the critical speeds.

Key words: reservoir, flow speed regime, the area of variable backwater.

doi 10.17072/2079-7877-2017-3-61-70