

УДК 504.064.2:502.2.08:551.4.044:528.854.2:519.876.5

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА КООРДИНАТ В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА

Мазуркин П.М., Георгиева Я.О.

*Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола,
e-mail: kaf_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru*

Цель статьи – анализ асимметричных вейвлетов в бинарных соотношениях между тремя координатами по 290 характерным точкам от истока до устья малой реки Ировка. Гипсометрическая характеристика – важнейшее свойство рельефа. Река Ировка относится к низменному уровню, в устье высота равна 89 м, а в истоке – 148 м над уровнем моря. Моделирование бинарных отношений широтой, долготой и высотой показало, что наибольшую квантовую определенность получает местная широта. При этом все парные закономерности получили коэффициент корреляции более 0,95. Такая высокая адекватность волновых закономерностей показывает, что геоморфология может перейти на волновое некротное фрактальное представление рельефа. Река Ировка отличается малым антропогенным воздействием, поэтому рельеф на длине 69 км имеет естественный характер колебательной адаптации малой реки к поверхности Вятского увала с его восточной стороны. Это позволяет перейти к анализу четырех притоков малой реки Ировка, а также моделировать рельеф всего водосборного бассейна площадью 917 км². Наибольшую адекватность с коэффициентом корреляции 0,9976 получило влияние широты на долготу, то есть географическое расположение рельефа русла реки относительно геоморфологии Вятского увала. На втором месте с корреляцией 0,9967 оказалось влияние высоты точек русла малой реки на местную долготу, и оно в основном также определяется рельефом Вятского увала. На третьем месте находится влияние широты на высоту с коэффициентом корреляции 0,9859. И на последнем – шестом – месте находится обратное влияние высоты на местную широту в направлении Север-Юг.

Ключевые слова: малая река, космоснимок, русло, точки, широта, долгота, высота, отношения, вейвлеты

REGULARITIES OF FACTOR ANALYSIS OF COORDINATES AT CHARACTERISTIC POINTS OF THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER IROVKA

Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O.

*Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola,
e-mail: kaf_po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru*

The purpose of the article is the analysis of asymmetric wavelets in binary relations between three coordinates at 290 characteristic points from the source to the mouth of the small river Irovka. The hypsometric characteristic is the most important property of the relief. The Irovka River belongs to a low level, at the mouth it is 89 m high, and at the source it is 148 m above sea level. Modeling of binary relations with latitude, longitude, and height has shown that local latitude receives the greatest quantum certainty. In this case, all paired regularities received a correlation coefficient of more than 0.95. Such a high adequacy of wave patterns shows that geomorphology can go over to the wave multiple fractal representation of the relief. The Irovka River is characterized by a small anthropogenic impact, therefore, the relief over a length of 69 km has the natural character of the oscillatory adaptation of a small river to the surface of the Vyatka Uval from its eastern side. This allows us to proceed to the analysis of the four tributaries of the small river Irovka, as well as to model the relief of the entire catchment basin of 917 km². The greatest adequacy with a correlation coefficient of 0.9976 was obtained by the influence of latitude on longitude, that is, the geographical location of the relief of the river channel with respect to the geomorphology of the Vyatka Uval. In second place with a correlation of 0.9967 was the influence of the height of the points of the channel of the small river on local longitude and it is also mainly determined by the relief of the Vyatka Uval. In third place was the effect of latitude on height with a correlation coefficient of 0.9859. And in last sixth place is the inverse effect of altitude on local latitude in the North-South direction.

Keywords: small river, space image, channel, points, latitude, longitude, altitude, relations, wavelets

Малые реки – наиболее уязвимое звено в речных системах, что связано с их небольшой водностью и невысокой эрозионно-транспортующей способностью. Этим объясняется особая чувствительность русел малых рек к антропогенным воздействиям: строительству земляных плотин, мостов, обустройству бродов, местному водозабору и сливу неочищенных (как правило, сточ-

ных) вод, вырубке лесов и распашке водосборов [1]. При этом фрактальные распределения рек по длинам в речной сети имеют определенные преимущества [2].

Нами по космическим снимкам были измерены координаты (широта, долгота, высота) [3] по методическим рекомендациям [4]. По измерениям составлена таблица координат для идентификации закономерностей [5].

Цель исследования: анализ асимметричных вейвлетов у бинарных отношений между тремя координатами по 290 характерным точкам от истока до устья малой реки Ировка.

Материалы и методы исследования

В табл. 1 даны результаты измерения трех координат.

Таблица 1
Координаты характерных точек русла малой реки Ировка

Ранг точки	Широта α , минута	Долгота β , минута	Высота h , м
0	0	17.39	59
1	0.02	17.50	52
2	0.19	17.62	48
...
287	23.84	2.019	4
288	23.87	2.035	2
289	23.89	2.017	0

Гипсометрическая характеристика – одно из важнейших свойств рельефа. По приподнятости поверхности суши над уровнем океана выделяют *низменный* (абсолютная высота от 0 до 200 м) рельеф [6, с. 24–25]. Река Ировка имеет в устье высоту 89 м, а в истоке – 148 м (рис. 1).

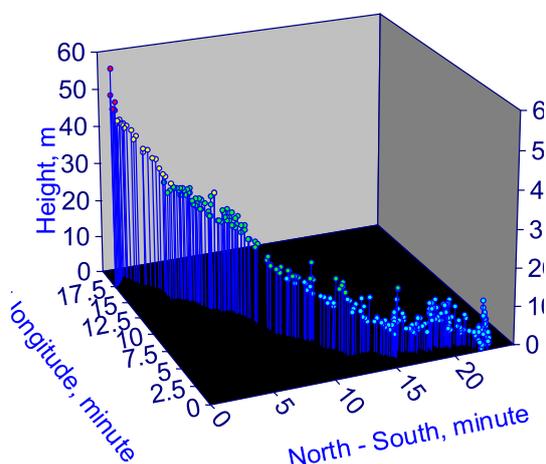


Рис. 1. Пространственная гипсометрия реки

Ировка по гипсометрической картине на рис. 1 протекает внутри прямоугольника 23.89 минут длиной (по местной широте) и 18.89 минут шириной (по местной долготе). Резкие изменения кривизны русла в плане по 290 характерным точкам дали несколько волновых уравнений.

Далее рассмотрим бинарные отношения.

Колебания (вейвлет-сигналы) записываются волновой формулой [5] вида

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}),$$

$$p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \quad (1)$$

где y – показатель (зависимый фактор), i – номер составляющей модели (1), m – количество членов в (1), x – объясняющая переменная (влияющий фактор), $a_1 \dots a_8$ – параметры (1), принимающие значения при структурно-параметрической идентификации в CurveExpert-1.40, A_i – амплитуда (половина) вейвлета (ось y), p_i – полупериод колебания (ось x).

Результаты исследования и их обсуждение

После идентификации общей модели (1) из трех координат в табл. 2 были получены шесть бинарных отношений.

Наибольшую адекватность с коэффициентом корреляции 0,9976 получило влияние широты на долготу. На втором месте с корреляцией 3.9967 оказалось влияние высоты точек русла малой реки на местную долготу, и оно в основном определяется рельефом Вятского увала. На третьем месте оказалось влияние широты на высоту с коэффициентом корреляции 0,9859.

И на последнем, шестом, месте находится обратное влияние высоты на местную широту в направлении Север-Юг. Все двух- и трехчленные модели имеют сильнейшую адекватность, то есть коэффициент корреляции составляет более 0,95.

Влияние высоты от устья до истока реки и долготы от левой точки русла

На рис. 2 и 3 приведены графики влияния высоты и долготы по моделям из табл. 2.

Высокая адекватность позволяет сделать вывод о том, что координаты русла малой реки обладают общими свойствами. Одним из них является непрерывность водного потока.

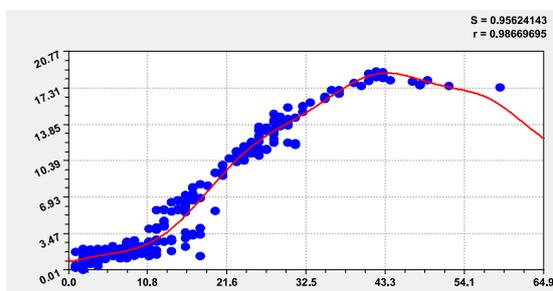
Влияние широты Север-Юг от истока до устья

Широта влияет на два остальных параметра (высоту и долготу) фрактально (табл. 3 включает 11 членов, табл. 4 – 13 вейвлетов). Причем эта фрактальность определяется некротной структурой составляющих (1).

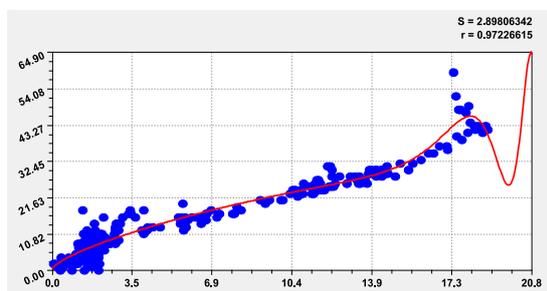
Таблица 2

Параметры моделей бинарных отношений координат реки Ирровка

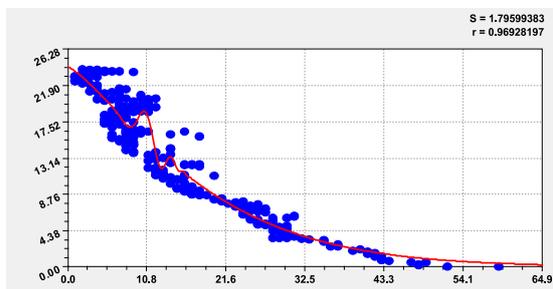
Номер i	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. корр. r
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
Влияние высоты от устья до истока реки на долготу характерных точек русла									
1	0.036510	1.84872	0.00015250	2.25378	0	0	0	0	0,9967
2	2.17901	0	0.060421	0.28602	10.34394	-0.0034879	1.50771	1.02204	
Влияние высоты от устья до истока реки на широту Север-Юг от истока до устья									
1	24.11765	0	0.021872	1.28116	0	0	0	0	0,9693
2	-4.11571e-20	33.78062	3.19877	1	10.11218	-0.14566	1.41996	-3.87447	
Влияние долготы от левой точки русла на высоту от устья реки Ирровка									
1	4.58566	0.73085	0	0	0	0	0	0	0,9723
2	2.03445	0	-1.75365e-5	3.90439	42.76414	-1.60613	1/03524	-1.26285	
Влияние долготы от левой точки русла на широту Север-Юг от истока до устья									
1	22.87329	0	0,0022749	2.42253	0	0	0	0	0,9724
2	-9.48597	3.81920	2.13995	0.64925	0	0	0	0	
3	3.10268e8	6.37127	19.73370	0.25275	0.41871	0.019294	1.94415	0.14850	
Влияние широты Север-Юг от истока до устья на высоту от устья до истока реки									
1	58.96563	0	0.11761	0.85812	0	0	0	0	0,9859
2	-1.71136e6	0.70048	12.14870	0.057545	0	0	0	0	
3	1.46900e-34	38.87949	1.67667	1.03588	83.45225	-4.18801	0.91671	-2.73588	
Влияние широты Север-Юг от истока до устья на долготу от левой точки русла реки									
1	19.08116	0	0.039811	1.32388	0	0	0	0	0,9976
2	-1.61185e-6	26.25390	14.89933	0.49461	0	0	0	0	
3	-2.09089	0	0.82090	0.40884	2.36913	0.0028086	1.55183	-0.35993	



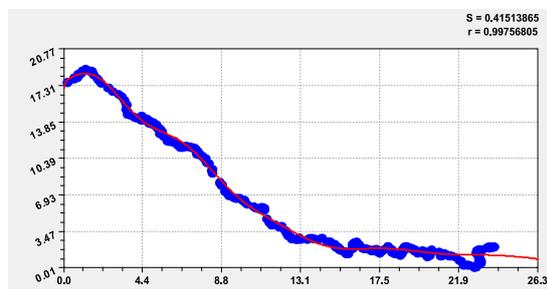
Тренд и колебание влияния на долготу



Тренд и колебание влияния на высоту



Тренд и колебание влияния на широту



Тренд и колебание влияния на широту

Рис. 2. Графики влияния высоты реки

Рис. 3. Графики влияния долготы русла

Таблица 3

Влияние широты Север-Юг от истока до устья на высоту реки Ирровка

Номер i	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. корр. r
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1	58.96563	0	0.11761	0.85812	0	0	0	0	0,9859
2	-1.71136e6	0.70048	12.14870	0.057545	0	0	0	0	
3	1.46900e-34	38.87949	1.67667	1.03588	83.45225	-4.18801	0.91671	-2.73588	
4	0.156044	3.10878	0.486002	1	2.82186	1.20712e-4	2.76209	1.22940	0,3909
5	2.89862e-15	20.01880	1.28894	1.01392	0.0715423	0.00979152	1.07050	13.45603	0,3601
6	5.09823e-99	116.00022	2.35448	1.33230	0.0777732	0	0	4.71515	0,2785
7	5.26586e-6	4.85253	0.153153	0.990526	0.106066	0	0	1.39946	0,1704
8	2.71862e-81	0	4.18864	1	0.113739	2.66500	0	0	0,1474
9	5.20858e-23	35.73529	3.03928	1.01566	4.04816	0.0655608	1.23614	-3.85008	0,1035
10	0.0921386	1.56575	0.172271	1	0.524478	4.53850	0	0	0,1791
11	0.896703	2.36906	0.877726	0.901428	0.771798	0	0	2.92625	0,1891

Адекватность влияния широты может достичь коэффициента корреляции 1. И этот факт показывает, что влияние местной широты обладает высокой определенностью квантования волновыми уравнениями (рис. 4–7). Это называется полным факторным анализом.

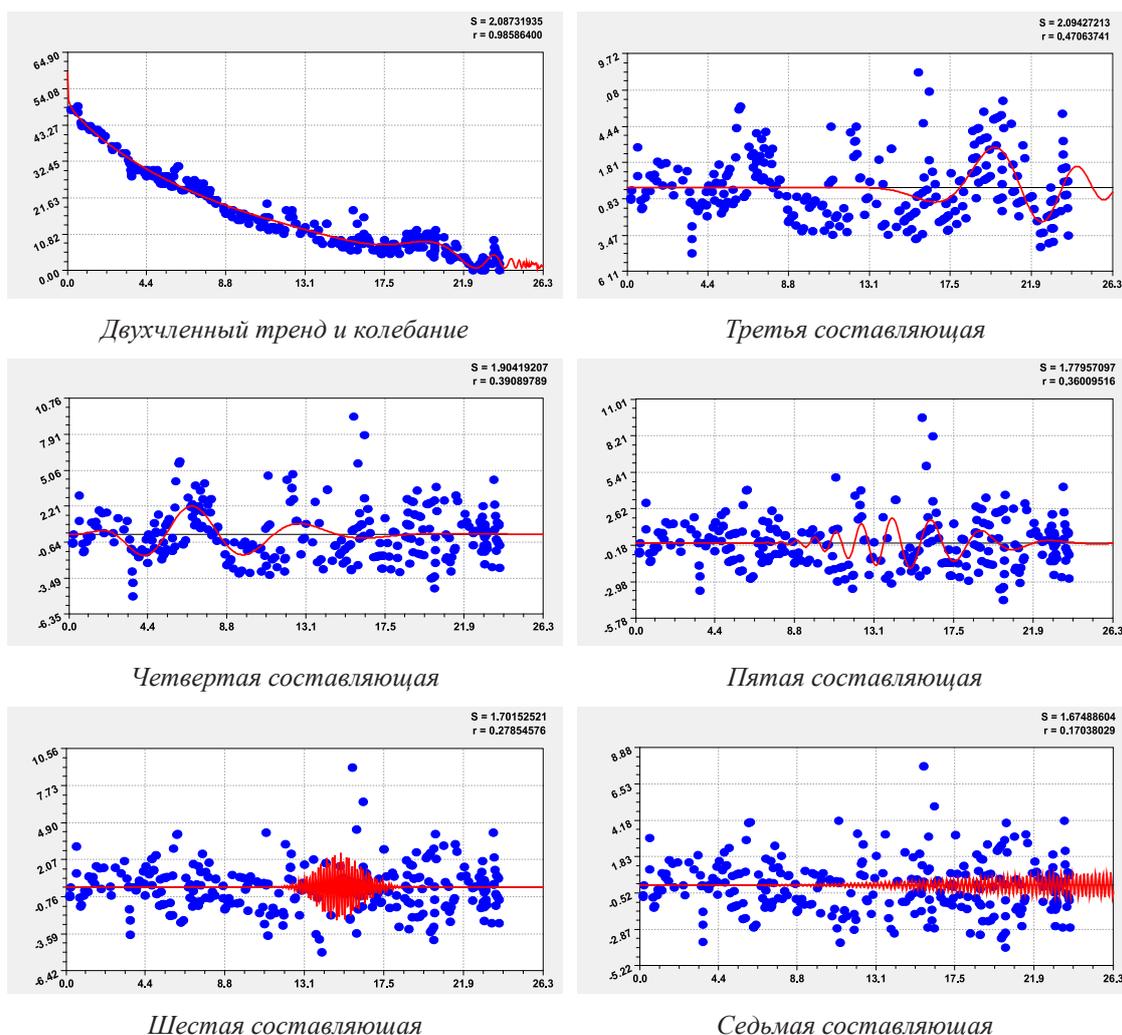


Рис. 4. Графики влияния широты Север-Юг от истока до устья на высоту реки Ирровка

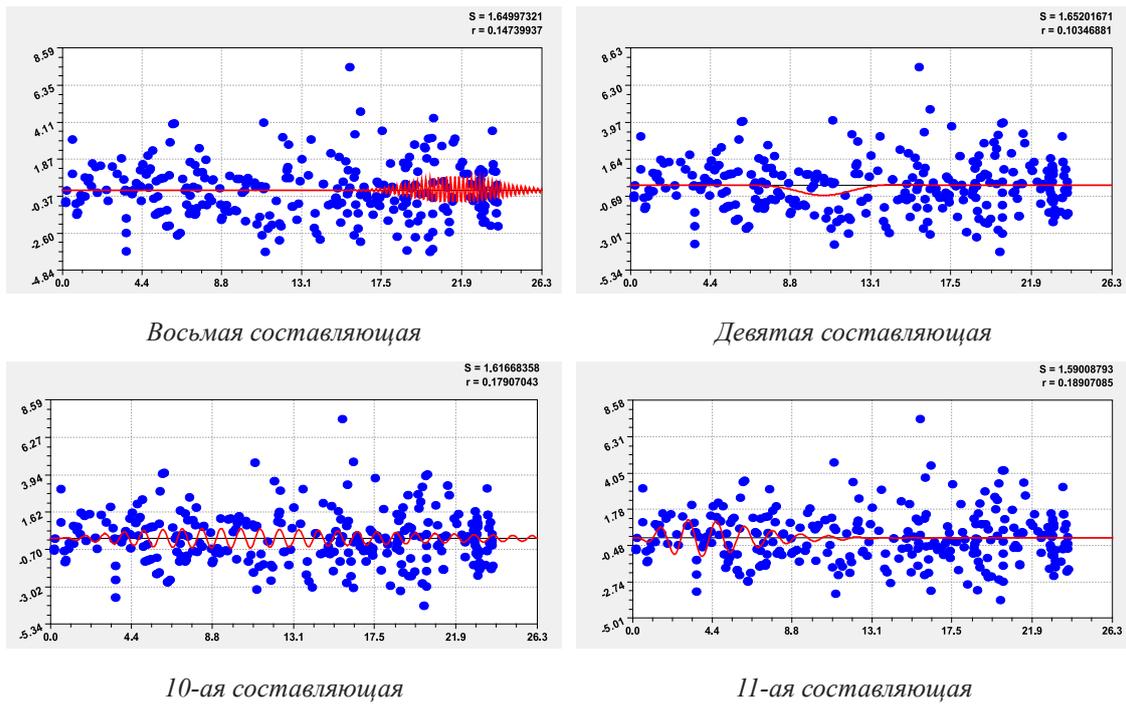


Рис. 5. Графики влияния широты Север-Юг на высоту от устья до истока реки Ировка

Таблица 4

Влияние широты Север-Юг от истока до устья на долготу реки Ировка

Номер i	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}) \cos(\pi x / (a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}) - a_{8i})$								Коэф. корр. r
	Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}		
1	19.08116	0	0.039811	1.32388	0	0	0	0	0,9976
2	-1.61185e-6	26.25390	14.89933	0.49461	0	0	0	0	
3	-2.09089	0	0.82090	0.40884	2.36913	0.0028086	1.55183	-0.35993	
4	1.95823e-5	0	0.448432	1.00282	0.0820466	0.0119878	1.00090	5.45636	0,4873
5	0.0168527	3.08551	0.378919	1.00055	1.58592	6.89209e-5	2.25901	2.74470	0,5584
6	4.51507e-6	4.65846	0.00126702	2.65421	0.156256	0.232502	0.219714	12.08418	0,3172
7	0.00742864	0	2.07429	0.127857	-0.0334208	1.99360	0.079573	6.22674	0,3006
8	1.14486e-8	7.88750	0.253085	1.12234	5.64354	1.01837	0	0	0,2100
9	1.59713e-7	5.97718	0.379652	0.825954	0.857850	0	0	6.11295	0,2035
10	1.28249	0.788528	1.19686	0.595343	0.772734	0.0263791	0.913011	1.77834	0,3538
11	1.79254e-13	11.76514	0.564683	0.905328	0.375291	0	0	2.47176	0,1360
12	0.0264789	1.10650	0.119784	0	0.497133	0	0	1.05946	0,2198
13	1.31795e-8	11.27609	2.044278	0.735657	0.594690	0	0	0.978506	0,0465

Таким образом, из трех координат для 290 характерных точек русла малой реки Ировка наибольший уровень некротной фрактальности имеет множество из 13 вейвлетов влияния местной широты

Север-Юг на местную долготу. Сравнение ранговых распределений показало, что модель (1) для широты получила 25 членов, для долготы 18 и для высоты – 12 членов.

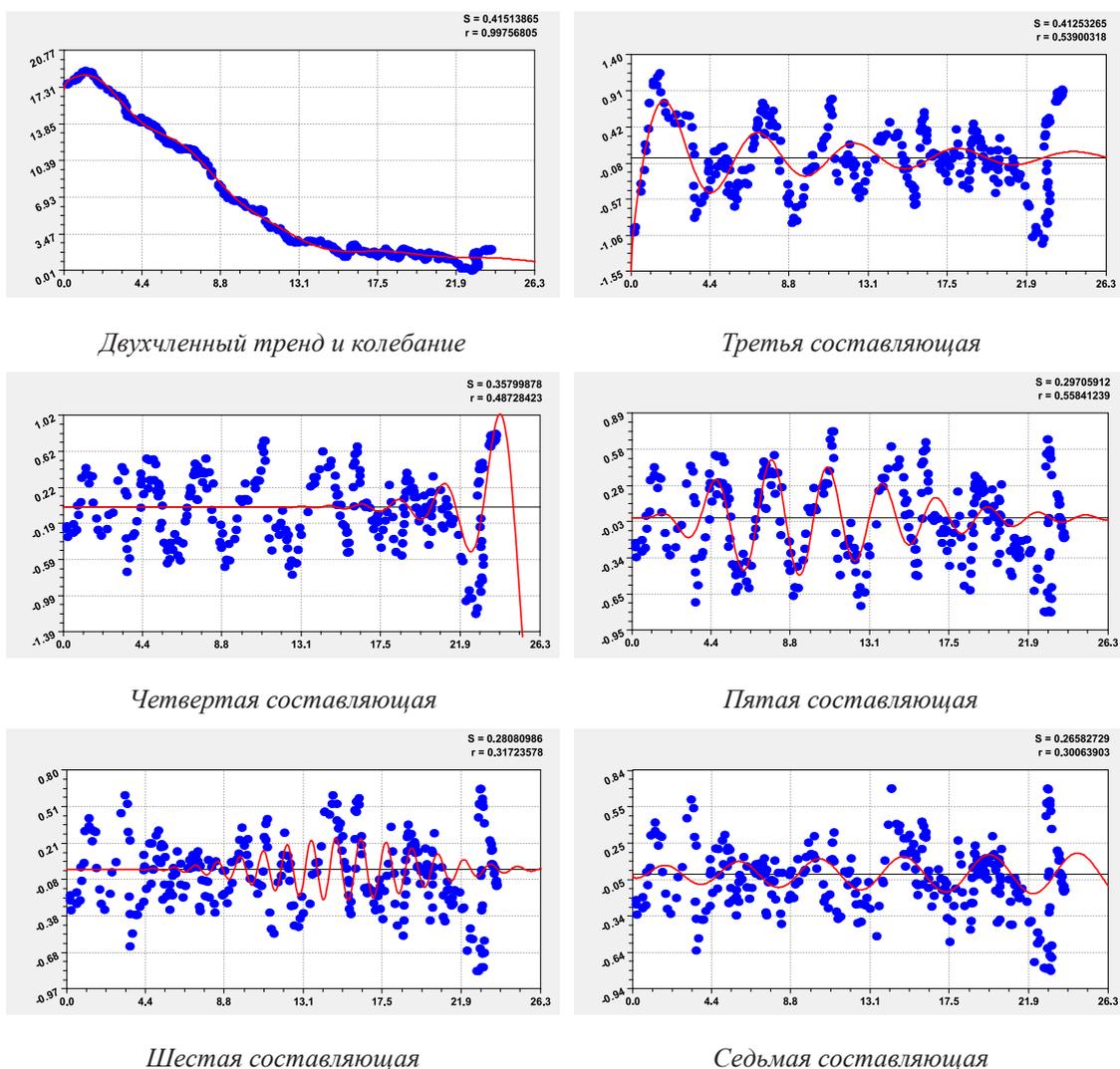


Рис. 6. Графики влияния широты Север-Юг на долготу от левой точки русла реки Ировка

Заключение

Гипсометрическая характеристика – важнейшее свойство рельефа. Река Ировка относится к низменному уровню, в устье высота равна 89 м, а в истоке – 148 м над уровнем моря. В статье показана возможность получения закономерностей гипсометрии.

Моделирование бинарных отношений между тремя координатами (широтой, долготой и высотой) характерных точек малой реки Ировка показало, что наибольшую квантовую определенность получает местная широта. При этом все парные закономерности имеют коэффициент корреляции более 0,95. Такая высокая адекватность волновых закономерностей показывает,

что геоморфология может перейти на не-кратное фрактальное представление рельефа. Река Ировка отличается малым антропогенным воздействием, поэтому рельеф на длине 69 км имеет естественный характер колебательной адаптации малой реки к поверхности Вятского увала с его восточной стороны. Это позволяет перейти к анализу четырех притоков малой реки Ировка, а также моделировать рельеф всего водосборного бассейна 917 км².

Наибольшую адекватность с коэффициентом корреляции 0,9976 получило влияние широты на долготу, то есть географическое расположение рельефа русла реки относительно геоморфологии суши на восточной стороне Вятского увала.

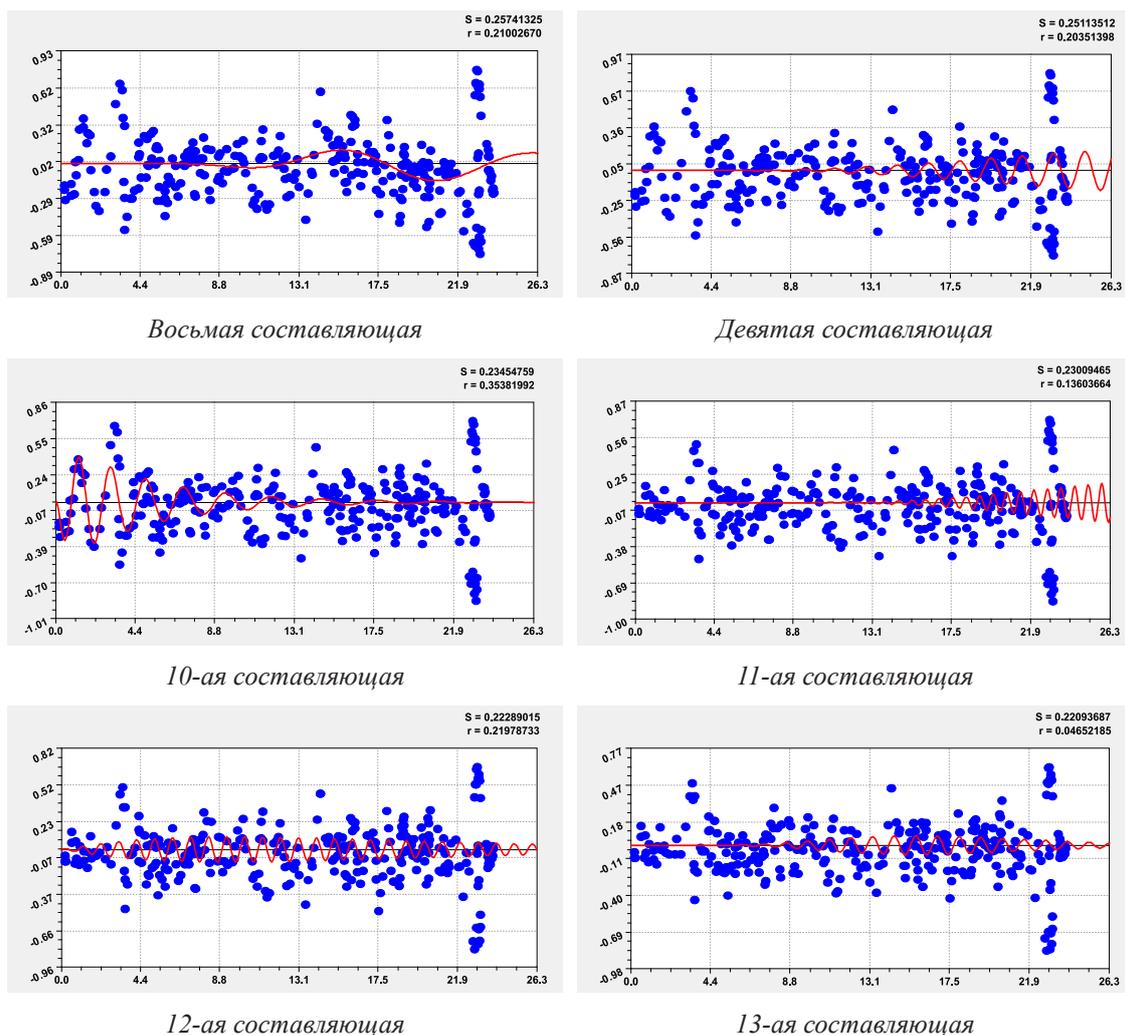


Рис. 7. Графики влияния широты Север-Юг на долготу от левой точки русла реки Ировка

На втором месте с корреляцией 0,9967 оказалось влияние высоты точек русла малой реки на местную долготу, и оно в основном тоже определяется рельефом Вятского увала. На третьем месте оказалось влияние широты на высоту с коэффициентом корреляции 0,9859.

Список литературы / References

1. Азизов З.К. Строение долин малых рек Ульяновской области: дис. ... канд. геогр. наук. Казань: КГУ, 2000. 177 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dissertcat.com/content/stroenie-dolin-malykh-rek-ulyanovskogo-predvolzha> (дата обращения: 11.02.2020).
2. Сидорчук А.Ю. Фрактальная геометрия речных сетей // Геоморфология. 2014. № 1. С. 3–14. DOI: 10.15356/0435-4281-2014-1-3-14.

Sidorchuk A.Y. Fractal geometry of the river network // *Geomorfologiya*. 2014. № 1. P. 3–14 (in Russian).

3. Мазуркин П.М., Георгиева Я.О. Измерение координат по спутниковым снимкам вдоль русла малой реки Ировка в Республике Марий Эл // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–2. С. 294–300.

Mazurkin P.M., Georgieva Y.O. Measurement of coordinates by satellite imagery along the bed of the small river Irovka in the Republic of Mari El // *Advances in current natural sciences*. 2019. № 12–2. P. 294–300 (in Russian).

4. Карты высот, уклонов. [Электронный ресурс]. URL: <http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l> (дата обращения: 11.02.2020).

Maps of heights, slopes. [Electronic resource]. URL: <http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l> (date of access: 11.02.2020) (in Russian).

5. Mazurkin P.M. Wavelet Analysis Statistical Data. *Advances in Sciences and Humanities*. 2015. Vol. 1. No. 2. P. 30–44. DOI: 10.11648/j.ash.20150102.11.

6. Рычагов Г.И. Геоморфология. Учебник для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2018. 396 с.

Rychagov G.I. *Geomorphology. Textbook for academic undergraduate*. M.: Yurayt, 2018. 396 p. (in Russian).