

УДК: 911.52
DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-17-25

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГРАВИОГЕОГРАФИИ РЕК (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНОГО УРАЛА)

STATISTICAL ANALYSIS OF GRAVIOGEOGRAPHY OF RIVERS (ON THE EXAMPLE OF THE EASTERN URALS)

A. V. Мартыненко, Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург
amartynenko@rambler.ru

A. Martynenko, Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg



Отмечено, что на многие природные явления и процессы существенное влияние оказывают гравиметрические особенности территорий. Указано, что гравиметрические характеристики территорий оказывают определенное влияние на развитие хозяйственных систем и структуру размещения населения.

Статья посвящена исследованию свойств гравиметрических аномалий вдоль русел рек Восточного Урала. Рассматриваются аномалии в свободном воздухе, Буге и изостатическая. Предложены количественные характеристики изменчивости гравиметрических аномалий вдоль линейных участков земной поверхности. В частности, для оценки изменения значений аномалии вдоль речного русла используются такие показатели, как интегральная норма отклонения аномалии от среднего значения и вариация значений аномалии.

Дан статистический анализ значений указанных показателей для выборки из 200 участков рек. Полученные показатели для рек сравнивались с аналогичными показателями для выборки из 200 случайных линейных участков территории. Установлено, что вариация значений каждой из гравиметрических аномалий для рек в среднем существенно превосходит аналогичные вариации для случайных линейных участков. Отмечено, что интегральная норма отклонения аномалии от своего среднего значения подобных различий не обнаруживает ни для одной из аномалий. Сделан вывод, что значения гравиметрических аномалий вдоль русел рек, не имея существенных отличий по величине, характеризуются повышенной осцилляцией

Ключевые слова: гравиметрическая аномалия; аномалия в свободном воздухе; аномалия Буге; изостатическая аномалия; география рек; Урал; реки Урала; геоинформационные технологии; статистический анализ; вариация функции

It is well known that many natural phenomena and processes are significantly influenced by the gravimetric characteristics of the territories in which they occur. In addition, the gravimetric characteristics of the territories have a certain impact on the development of economic systems and the structure of population distribution.

The article is devoted to the study of the properties of gravimetric anomalies along the riverbeds of the Eastern Urals. The anomalies in free-air, Bouguer and isostatic are observed. The quantitative characteristics of gravimetric anomalies variability along the linear sections of the earth's surface are proposed. In particular, to assess the change in the values of the anomaly along the river bed such indicators as the integral norm of the anomaly deviation from the mean value and anomaly value variation are used.

The article presents a statistical analysis of the values of these indicators for a sample of 200 river sections. The obtained data for rivers were compared with similar data for a sample of 200 random linear areas of the territory. It was found that the variation of the values of each gravimetric anomaly for rivers on average significantly exceeds similar variations for random linear plots. At the same time, the integral norm of anomaly deviation from its mean value does not detect such differences for any of the anomalies. The author makes the conclusion that the values of gravimetric anomalies along the riverbeds are characterized by increased oscillation

Key words: gravimetric anomaly; anomaly in free air; Bouguer anomaly; isostatic anomaly; geography of rivers; Ural, Ural rivers; geo-information technology; statistical analysis; variation functions

Введение. Многие природные явления и процессы тесно связаны с гравиметрическими особенностями территорий, на которых они протекают. Прежде всего, это относится к геологическим явлениям и процессам, связанным с формированием ландшафта, однако не ограничивается ими, поскольку, например, многие особенности развития биологических систем также тесно сопряжены с гравиметрическими аномалиями. Ряд гравиметрических аспектов развития природных и хозяйственных систем изучен В. В. Литовским, В. В. Левковским [2–9]. В их работах исследовалось влияние гравиметрических факторов на размещение населения и хозяйственную специализацию территории в пределах Большого Урала [4; 5; 9]. На основе качественного анализа большого объема фактического материала данными авторами выдвинуто и обосновано несколько гипотез относительно гравиметрических закономерностей размещения населенных пунктов.

В. В. Литовским изучены гравиметрические свойства озер и рек. В частности, на основе данных по рекам восточного склона Урала выдвинута гипотеза «о реках как гравитационных насосах, действие которых сопряжено фундаментальным явлением изостатического выравнивания дневных поверхностей земной коры и стадиями эволюционирования водотока» [6]. Установлено, что «реки являются пространственно-динамическими каналамиброса и депонирования гравитационного сноса, а устья большей части рек восточного склона тяготеют к зонам отрицательных гравиоаномалий и являются маркерами геохимических полей развития» [Там же].

Цель данной работы — опираясь на статистический анализ количественных характеристик гравиопрофилей уральских рек, выявить количественные (статистические) гравиметрические особенности территорий, по которым проходят русла рек.

Под гравиметрической аномалией в точке земной поверхности с географическими координатами (x, y) понимают величину

$$\Delta g(x, y) = g_{obs}(x, y) - g_{teor}(x, y), \quad (1)$$

где $g_{obs}(x, y)$ — наблюдаемое значение силы тяжести в точке (x, y) , которое можно получить непосредственным измерением поля силы тяжести в точке (x, y) ;

$g_{teor}(x, y)$ — теоретическое значение силы тяжести в точке (x, y) , для расчета которого делаются различные допущения относительно формы Земли и ее структуры.

Например, можно предполагать, что Земля является эллипсоидом вращения. В этом случае $g_{teor}(x, y)$ вычисляется для точки с координатами (x, y) , лежащей на поверхности эллипсоида. Однако $g_{obs}(x, y)$ измеряется в точке с координатами (x, y) реальной поверхности Земли, которая не совпадает с точкой на поверхности эллипсоида. Поэтому при вычислении $g_{teor}(x, y)$ необходимо учитывать то, насколько реальная точка земной поверхности расположена выше или ниже поверхности эллипсоида. Если при этом предполагается однородность плотности вещества эллипса, то гравиметрическая аномалия, вычисляемая по формуле (1), называется аномалией в свободном воздухе. На значение гравиметрической аномалии оказывает влияние не только тот факт, что точка Земной поверхности лежит выше или ниже соответствующей точки теоретического эллипсоида, но и то вещество, которое содержится или отсутствует в слое между поверхностями Земли и эллипсоида. Аномалия, вычисленная по формуле (1) с учетом этого промежуточного слоя, называется аномалией Буге. Предположение об однородности эллипсоида можно заменить на более точный закон изостатического равновесия, который предполагает, что менее плотная земная кора плавает в более плотном слое мантии в соответствии с законом Архимеда. Если $g_{teor}(x, y)$ рассчитывается, исходя из этого закона, то гравиметрическую аномалию (1) называют изостатической. В. В. Орлёнок дает более детальные сведения о гравиметрических аномалиях [11].

Методология и методика исследования. Проведен количественный анализ гравиметрических профилей рек. Под гравиметрическим профилем (гравиопрофилем) реки мы понимаем такую кривую, что абс-

цифра каждой ее точки равна расстоянию от истока до соответствующей точки реки, а ордината — значение гравиметрической аномалии данной точки.

Для выявления особенностей гравиметрических профилей рек необходимо ввести меру, которая позволит количественно оценивать изменение значения гравиметрической аномалии вдоль русла реки. Такую меру будем называть *показателем изменчивости гравиопрофиля* реки.

В качестве показателя изменчивости гравиопрофиля можно использовать различные математические показатели, характеризующие отклонение функции от постоянной величины. В качестве таких показателей предлагаем использовать вариацию функции и интегральную норму отклонения функции от своего среднего значения.

Пусть функция $f(x)$ определена на отрезке $[a, b]$. Тогда вариацией функции $f(x)$ на отрезке $[a, b]$ называется величина

$$V(f) = V_a^b(f) = \sup_{\Theta} \sum_{k=1}^{m-1} |f(x_{k+1}) - f(x_k)|,$$

где точная верхняя грань берется по всем возможным разбиениям $\Theta = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ отрезка $[a, b]$. Для достижения целей данной работы нет надобности использовать столь общее определение, поскольку можно считать, что гравиопрофиль является непрерывной кривой, имеющей конечное число точек экстремума. В этом случае вариация на отрезке $[a, b]$ вычисляется по формуле

$$V(f) = V_a^b(f) = \sum_{k=1}^{m-1} |f(x_{k+1}) - f(x_k)|, \quad (2)$$

где $x_1 = a$, $x_m = b$ и x_2, x_3, \dots, x_{m-1} — точки экстремума функции $f(x)$.

В качестве примера рассмотрим вычисление вариации функции, изображенной на рис. 1. Функция $f(x)$ определена на отрезке $[2, 23]$ и имеет экстремум в точках 5, 8, 15. В соответствии с формулой (2) получаем

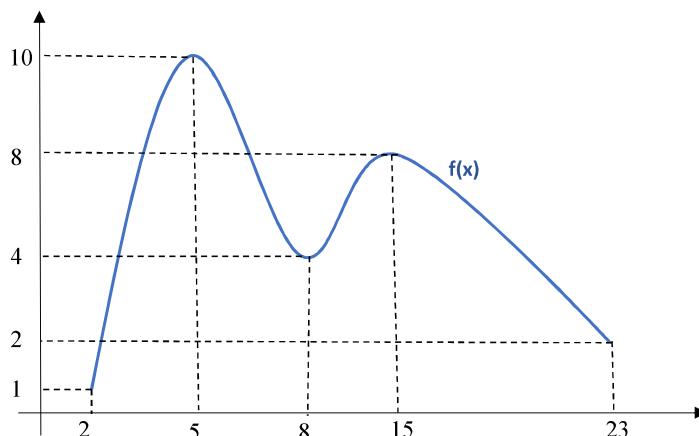


Рис. 1. Пример для вычисления вариации функции /
Fig. 1. Example for calculating the variation of a function

$$\begin{aligned} V(f) = V_2^{23}(f) &= |f(5) - f(2)| + |f(8) - \\ &- f(5)| + |f(15) - f(8)| + |f(23) - f(15)| = \\ &= |10 - 1| + |4 - 10| + |8 - 4| + |2 - 8| = 25. \end{aligned}$$

Под интегральной нормой функции $f(x)$ на отрезке $[a, b]$ понимают величину

$$\|f\| = \int_a^b |f(x)| dx.$$

Среднее значение функции $f(x)$ на отрезке $[a, b]$ будем понимать как среднее

между наибольшим и наименьшим значениями функции $f(x)$ на отрезке $[a, b]$, т. е.

$$f_{cp} = \frac{1}{2} (\min_{[a,b]} f(x) + \max_{[a,b]} f(x)).$$

Таким образом, интегральная норма отклонения функции от своего среднего значения есть величина

$$S(f) = \|f - f_{cp}\| = \int_a^b |f(x) - f_{cp}| dx.$$

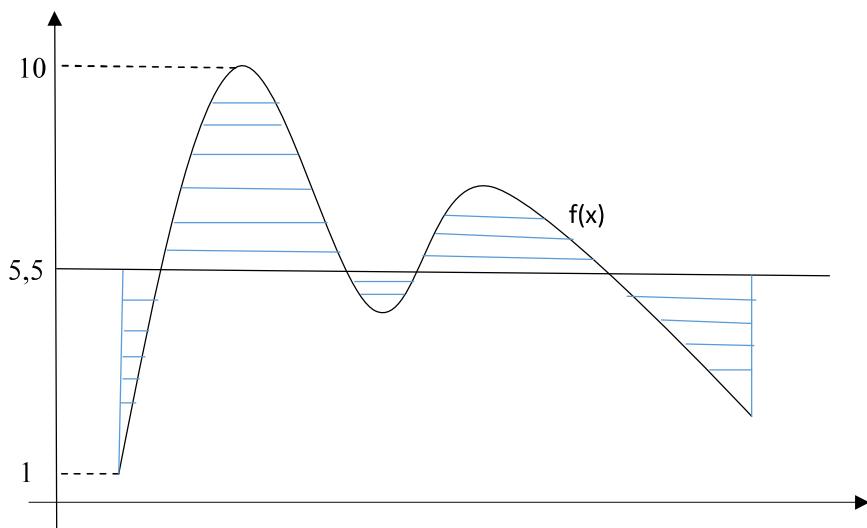


Рис. 2. Геометрическая интерпретация интегральной нормы отклонения от среднего значения /
Fig. 2. Geometric interpretation of the integral norm of deviation from the mean value

На рис. 2 показана геометрическая интерпретация величины $S(f)$. Численное значение $S(f)$ совпадает с площадью заштрихованной фигуры.

Из определений величин $V(f)$, $S(f)$ и приведенных примеров видно, что каждую из этих величин можно использовать в качестве показателя изменчивости гравиопрофиля, поскольку для функции, тождественно равной константе, эти величины равны нулю, а чем сильнее функция отличается от постоянной величины, тем большими будут значения $V(f)$ и $S(f)$.

Для достижения целей исследования необходимо использование большого объема геоданных и геоинформационные инструменты для их обработки. В частности, данные о гравиметрических аномалиях взяты из базы данных Международного гравиметрического бюро (*International Gravimetric Bureau*) [10]. Эта база данных находится в свободном доступе и представляет собой текстовый файл, в котором содержатся значения гравиметрических аномалий для точек земной поверхности, образующих сетку с шагом $2'$ [13].

В качестве источника геоданных о реках используются данные *OpenStreetMap* в

формате shape-файлов (векторных слоев). Эти данные также находятся в свободном доступе [12].

Для геоинформационной и математической обработки данных используется программа *Wolfram Mathematica 10.1* [14].

Мы рассматриваем участок земной поверхности, охватывающий (частично) территории восточного склона Урала и Западной Сибири. В административном плане эта территория включает Свердловскую, Курганскую, Тюменскую области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономный округа. При использовании этой территории в математических конструкциях мы обозначаем ее через D . Исходные значения аномалий, которые даны для сетки с шагом $2'$, с помощью интерполяции распространим на все точки области D . Тем самым для каждой точки $(x, y) \in D$ определены функции $f=f(x, y)$ — значения аномалии в свободном воздухе, $b=b(x, y)$ — значения аномалии Буге и $i=i(x, y)$ — значения изостатической аномалии. В качестве примера значения аномалий в свободном воздухе представлены на рис. 3.

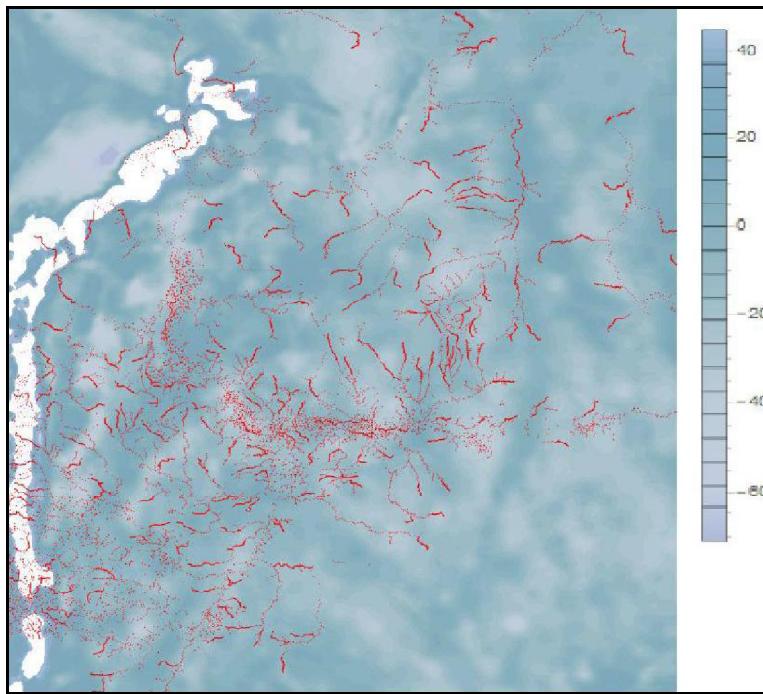


Рис. 3. Аномалии в свободном воздухе (пунктиром показаны реки, сплошными линиями – анализируемые участки рек) / Fig. 3. Anomalies in free air (the dots are the rivers, solid lines are analyzed sections of rivers)

Проанализированы гравиопрофили рек, протекающих по указанным терitorиям. Поскольку введенные показатели изменчивости гравиопрофиля зависят от его длины, то для анализа используем выборку, состоящую из 200 участков рек, каждый из которых имеет длину 100 км. Исследуемые участки представлены на рис. 3 (реки показаны пунктиром, исследуемые участки – сплошными линиями).

Поскольку нам необходимо выделить статистические особенности гравиопрофилей рек, то выборку стокилометровых участков рек будем сравнивать со случайной выборкой стокилометровых прямолинейных отрезков. Формирование такой выборки отрезков осуществим следующим образом. На первом этапе выбираются случайные точки в соответствии с двумерным равномерным распределением с носителем в области D (как и выше, возьмем 200 точек). Затем для каждой из этих точек выбираем одну случайную точку в соответствии с равномерным распределением, имеющим в качестве носителя окружность с центром

в первой точке и радиусом 100 км. Полученная выборка отрезков представлена на рис. 4.

Результаты исследования. Обозначим описанную ранее выборку участков рек через R , а выборку отрезков – через L . Каждый участок реки $r \in R$ и каждый отрезок $l \in L$ можно параметризовать, выбирая в качестве параметра расстояние до одного из концов. Другими словами, на g и l можно ввести одномерную систему координат так, что значение координаты t равно расстоянию до выбранного конца. С другой стороны, каждая точка (x,y) участка g или отрезка l принадлежит области D , следовательно, в ней определены функции $f(x,y)$, $b(x,y)$ и $i(x,y)$. Поскольку для любого g или l существует взаимно однозначное соответствие между координатами (x,y) и t , то для каждого g или l можно рассматривать $f(x,y)$, $b(x,y)$ и $i(x,y)$ как функции одного аргумента t (все необходимые для этого вычисления легко выполняются в программе Wolfram Mathematica). Обозначим такие функции, как $fr(t)$, $br(t)$,

$ir(t)$ и $fl(t)$, $bl(t)$, $il(t)$, для элементов $r \in R$ и $l \in L$ соответственно. Эти функции представляют собой гравиопрофили для соответствующих аномалий. Далее для каждого элемента $r \in R$ и $l \in L$ вычисляем показатели изменчивости гравиопрофиля $V(fr(t))$, $V(br(t))$, $V(ir(t))$, $V(fl(t))$,

$V(bl(t))$, $V(il(t))$ и $S(fr(t))$, $S(br(t))$, $S(ir(t))$, $S(fl(t))$, $S(bl(t))$, $S(il(t))$. Множество значений показателя $V(fr(t))$ при $r \in R$ обозначим через Vfr , аналогично все остальные множества значений — через Vbr , Vir , Vfl , Vbl , Vil , Sfr , Sbr , Sir , Sfl , Sbl , Sil .

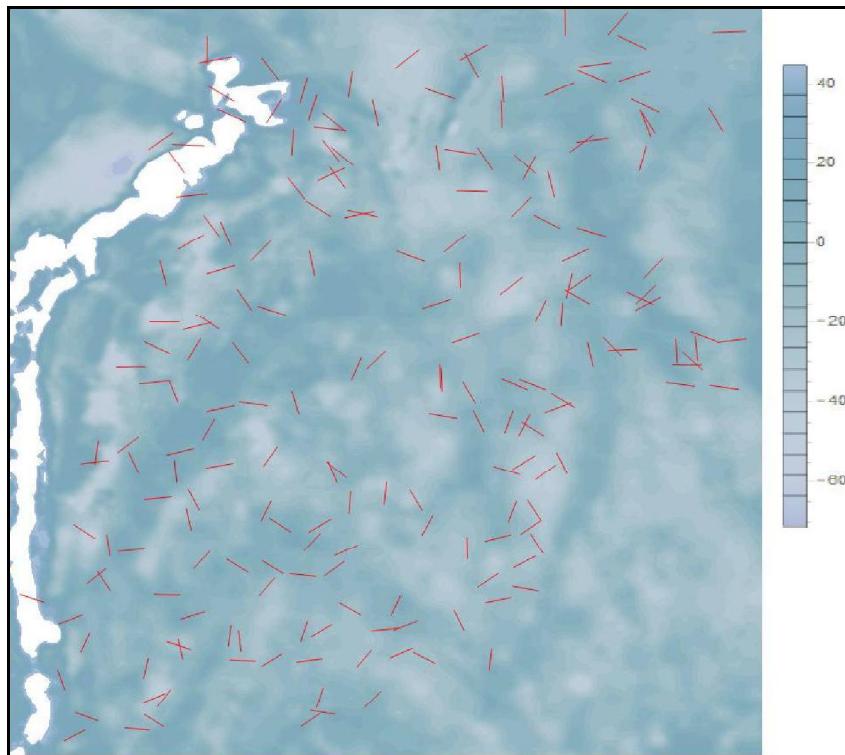


Рис. 4. Случайная выборка отрезков / Fig. 4. Random sample of segments

Используя стандартные методы проверки статистических гипотез (например, [1]), сравним средние значения показателей изменчивости гравиопрофиля для участков рек и для случайных отрезков. Для проверки гипотез будем использовать критерий

$$Z = \frac{\bar{Y} - \bar{X}}{\sqrt{\frac{D_B(Y)}{n_Y} + \frac{D_B(X)}{n_X}}}.$$

Отметим, что критерий Z при больших объемах выборок X и Y распределен приближенно нормально вне зависимости от того, какое распределение имеют X и Y [Там же]. Используя обозначение $M(X)$ для математического ожидания случайной величины X , представим результаты проверки гипотез о равенстве математических ожиданий вариации гравиопрофилей в виде табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Сравнение средних вариаций / Comparison of average variations

Гипотезы и критерии / Hypothesis and criterions	Аномалия в свободном воздухе / Anomaly in free air	Аномалия Буге / Bouguer anomaly	Изостатическая аномалия / Isostatic anomaly
Гипотеза H_0 / Hypothesis H_0	$M(V_{fr})=M(V_{bl})$	$M(V_{br})=M(V_{bl})$	$M(V_{ir})=M(V_{il})$
Гипотеза H_1 / Hypothesis H_1	$M(V_{fr})>M(V_{bl})$	$M(V_{br})>M(V_{bl})$	$M(V_{ir})>M(V_{il})$
Выборочное среднее значение для участков рек / Sample mean for river sections	48,4	59,1	59,5
Выборочное среднее значение для случайных отрезков / Sample mean for random segments	19,6	23,1	23,2
Наблюдаемое значение критерия / Observed criterion value	9,8	9,7	7,5
P-значение / P-value	$1,8 \cdot 10^{-37}$	$1,4 \cdot 10^{-37}$	$3,6 \cdot 10^{-35}$
Вывод при $\alpha=0,1\%$ / Result for $\alpha=0,1\%$	отвергается	отвергается	отвергается

Проверка гипотез о равенстве математических ожиданий интегральных норм отклонения от среднего значения для гравиопрофилей представлена в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

Сравнение средних интегральных норм отклонения / Comparison of average integral norm of deviation

Гипотезы и критерии / Hypothesis and criterions	Аномалия в свободном воздухе / Anomaly in free air	Аномалия Буге / Bouguer anomaly	Изостатическая аномалия / Isostatic anomaly
Гипотеза H_0 / Hypothesis H_0	$M(S_{fr})=M(S_{bl})$	$M(S_{br})=M(S_{bl})$	$M(S_{ir})=M(S_{il})$
Гипотеза H_1 / Hypothesis H_1	$M(S_{fr})>M(S_{bl})$	$M(S_{br})>M(S_{bl})$	$M(S_{ir})>M(S_{il})$
Выборочное среднее значение для участков рек / Sample mean for river sections	489,6	493,1	494,2
Выборочное среднее значение для случайных отрезков / Sample mean for random segments	446,9	427,5	431,4
Наблюдаемое значение критерия / Observed criterion value	1,01	1,57	1,53
P-значение / P-value	0,156	0,056	0,064
Вывод при $\alpha=5\%$ / Result for $\alpha=5\%$	не отвергается	не отвергается	не отвергается

Таким образом, вариации гравиопрофилей рек обнаруживают существенное отличие от вариаций гравиопрофилей случайных отрезков (в смысле различия сред-

них значений). В то же время интегральные нормы отклонений гравиопрофилей от их средних значений подобных различий не имеют.

Заключение. Количественный анализ показал, что гравиопрофили рек обладают особенностями в том смысле, что обнаружена числовая характеристика изменчивости гравиопрофиля, значения которой для рек демонстрируют существенные статистические отличия от ее значений для гравиопрофилей случайных линейных участков земной поверхности. Такой характеристикой является вариация гравиопрофиля. Интегральная норма отклонения гравиопрофиля от своего среднего значения не обнаруживает каких-либо различий между реками и произвольными линейными участками земной поверхности.

Очевидно, что вариация функции и ее интегральная норма отклонения от среднего зависят от того, насколько сильно меня-

ется функция на любом из отрезков своей области определения. Если функция имеет значимые и частные изменения, то ее вариация и интегральная норма отклонения от среднего будут велики. Если функция меняется часто, но незначительно, то интегральная норма отклонения от среднего не будет принимать большие значения, однако вариация при этом будет большой. Другими словами, вариация «чувствует» частные незначительные изменения, а интегральная норма отклонения от среднего — нет. Поэтому полученный результат можно интерпретировать следующим образом: значения гравиополей вдоль русел рек, не имея существенных отличий по величине, характеризуются повышенной осцилляцией.

Список литературы

1. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
2. Литовский В. В. Гравиогеография, проблемы инфраструктуры и размещения производительных сил // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: шестые научные чтения памяти Ю. П. Буланевича. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 232–235.
3. Литовский В. В. Проблемы пространственного формирования опорного транспортного каркаса Урала: мегапроект «Урал промышленный – Урал Полярный» // Транспорт Урала. 2011. № 2. С. 21–29.
4. Литовский В. В. Гравиогеография горнозаводских городов Урала меднорудной специализации. Сообщение 1. Север Свердловской области // Эко-потенциал. 2016. № 4. С. 22–32.
5. Литовский В. В. Гравиогеография горнозаводских городов Урала меднорудной специализации. Сообщение 2. Средний Урал и север Южного Урала // Эко-потенциал. 2016. № 4. С. 33–49.
6. Литовский В. В. Гравиогеография рек восточного склона Урала. Часть I // Эко-потенциал. 2017. № 4. С. 73–96.
7. Литовский В. В. Гравиогеография рек восточного склона Урала. Часть II. Естественно-исторические аспекты // Эко-потенциал. 2017. № 4. С. 97–111.
8. Литовский В. В. Гравиогеография соленых озер Урала и сопредельных территорий: I. Челябинская и Курганская области. Особенности геохимии и генезиса // Географический вестник. 2017. № 4. С. 12–21.
9. Литовский В. В., Левковский В. В. Гравиогеография горнозаводских городов Урала меднорудной специализации. Сообщение 3. Республика Башкортостан, Оренбургская область // Эко-потенциал. 2016. № 4. С. 50–64.
10. Международное гравиметрическое бюро [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bgi.obs-mip.fr> (дата обращения: 15.09.2018).
11. Орлёнок В. В. Основы геофизики. Калининград: Калининградский государственный университет, 2000. 446 с.
12. Основные геоданные GIS-Lab [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gislab.info/qa/data.html> (дата обращения 15.08.2018).
13. Balmino G., Vales N., Bonvalot S., Briais A. Spherical harmonic modelling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies // Journal of Geodesy. 2012. No. 7. P. 499–520.
14. Parker R. N., Asencio E. K. GIS and spatial analysis for the social sciences. New York: Routledge, 2008. 252 p.

References

1. Kobzar A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika* (Applied Mathematical Statistics). Moscow: FIZMATLIT, 2006. 816 p.
2. Litovsky V. V. *Glubinnoe stroenie, geodinamika, teplovoe pole Zemli, interpretatsiya geofizicheskikh poley: shestye nauchnye chteniya pamyati Yu. P. Bulashevicha* (Deep structure, geodynamics, thermal field of the Earth, interpretation of geophysical fields: the sixth scientific readings in memory of Yu. P. Bulashevich). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2011. pp. 232–235.
3. Litovsky V. V. *Transport Urala* (Transport of the Urals), 2011, no. 2, pp. 21–29.
4. Lithuanian V. V. *Eko-potentsial* (Eco-potential), 2016, no. 4, pp. 22–32.
5. Lithuanian V. V. *Eko-potentsial* (Eco-potential), 2016, no. 4, pp. 33–49.
6. Lithuanian V. V. *Eko-potentsial* (Eco-potential), 2017, no. 4, pp. 73–96.
7. Lithuanian V. V. *Eko-potentsial* (Eco-potential), 2017, no. 4, pp. 97–111.
8. Lithuanian V. V. *Geograficheskiy vestnik* (Geographic Herald), 2017, no. 4, pp. 12–21.
9. Litovsky V. V., Levkovsky V. V. *Eko-potentsial* (Eco-potential), 2016, no. 4, pp. 50–64.
10. *Mezhdunarodnoe gravimetricheskoe byuro* (International Gravimetric Bureau). Available at: <http://www.bgi.obs-mip.fr> (Date of access: 15.09.2018).
11. Orlyonok V. V. *Osnovy geofiziki* (Fundamentals of Geophysics). Kaliningrad: Kaliningrad State University Press, 2000. 446 c.
12. *Osnovnye geodannye GIS-Lab* (Main geodata of GIS-Lab). Available at: <http://www.gislab.info/qa/data.html> (Date of access: 15.08.2018).
13. Balmino G., Vales N., Bonvalot S., Briais A. *Journal of Geodesy* (Journal of Geodesy), 2012, no. 7, pp. 499–520.
14. Parker R. N., Asencio E. K. *GIS and spatial analysis for the social sciences* (GIS and spatial analysis for the social sciences). New York: Routledge, 2008. 252 p.

Коротко об авторе

Briefly about the author

Мартыненко Александр Валериевич, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры естественнонаучных дисциплин, Уральский государственный университет путей сообщения, старший научный сотрудник, центр развития и размещения производительных сил Института экономики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Область научных интересов: математические модели экономических и природных процессов
amartynenko@rambler.ru

Alexander Martynenko, candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Natural Sciences department, Ural State University of Communications, senior researcher, Center for Development and Placement of Productive Forces of the Institute of Economics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia. Sphere of scientific interests: mathematical models of economic and natural processes

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований
(16-06-00324).

Образец цитирования

Мартыненко А. В. Статистический анализ гравиогеографии рек (на примере Восточного Урала) // Вестн. Забайкал. гос. ун-та. 2019. Т. 25. № 2. С. 17–25. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-17-25.

Martynenko A. Statistical analysis of graviogeography of rivers (on the example of the Eastern Urals) // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 2, pp. 17–25. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-17-25.

Статья поступила в редакцию: 07.09.2018 г.
Статья принята к публикации: 23.01.2019 г.

