

УДК 551.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ СТАТИСТИК ДЛЯ ОПИСАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ГЕОМЕТРИИ РАВНИННЫХ И ГОРНЫХ МЕСТНОСТЕЙ

© 2003 Л.С. Шарая¹, П.А. Шарый²

¹ Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино

Известные статистические методы анализа местностей, такие как анализ гистограмм статистического распределения высот, крутизны и направления склонов, могут быть дополнены методами, основанными на использовании морфометрических статистик, то есть, дополнены анализом частот встречаемости различных типов форм земной поверхности. В статье вводятся и изучаются на большом массиве данных (17 крупномасштабных цифровых матриц высот местностей общей площадью более 45 тыс. км², общее число элементов матриц около 33 миллионов) новые морфометрические статистики (частоты встречаемости типов форм и их отношения), основанные на классификации Трёха типов форм земной поверхности. Показано, что эти характеристики в целом предсказуемы, но имеются сравнительно малые отклонения от предсказанных значений, которые закономерно связаны с перепадом высот DDZ местности. Закономерности состоят в линейной зависимости (в статистическом смысле) ряда частот от логарифма DDZ. Отрицательные формы классификации Трёха при этом преобладают в горных странах, а положительные – на равнинных местностях. Предлагается возможная интерпретация этих результатов как следствий протекания процессов денудации, идущих параллельно с тектоническими процессами на геологических временах. Обсуждаются возможности использования других классификаций форм рельефа, для которых морфометрические статистики могут быть как статистически предсказуемыми, так и непредсказуемыми, то есть непосредственно описывающими специфику местностей.

Введение

Представление об общей и частной геоморфометрии как науке о количественном анализе рельефа было введено английским геоморфологом И. Эвансом [7], дальнейшее развитие ее представлено в работах П.А. Шарого с соавт. [3, 4, 17, 19]. Согласно Эвансу, “общая геоморфометрия обеспечивает основу для количественных сравнений качественно различных ландшафтов и может адаптировать методы анализа поверхности, используемые вне геоморфологии. Частная геоморфометрия более ограничена; она включает в себя более произвольные решения и оставляет больше места для субъективизма в квантовании своих понятий”. Методами общей геоморфометрии могут описываться:

- 1) твердый и жидкий поверхностный сток,
- 2) расчлененность местности,
- 3) терморезим склонов,
- 4) геометрические формы земной повер-

хности,

- 5) высотная зональность.

Геоморфометрия оперирует морфометрическими величинами (МВ), которые являются количественными характеристиками земной поверхности, определенными в каждой точке земной поверхности, например, высота, крутизна, ориентация, полные гауссова и аккумуляционная кривизны и т.д. В настоящее время введено 18 обоснованных МВ, входящих в систему, состоящую из 6 непересекающихся классов, уточнены их формулы, определены физический смысл, место в системе и связь с другими МВ [19]. Две величины из этой системы, горизонтальная и вертикальная кривизны, а также связанные с ними понятия более 50 лет используются в науках о Земле [5-9, 11, 12, 17, 19, 22], по этой теме опубликован ряд обзоров [4, 14, 16]; в этой статье мы ограничиваемся рассмотрением структуры земной поверхности и процессов, связанных только с некоторыми из этих МВ.

Вместе с тем, имеющиеся фундаментальные классификации форм земной поверхности по знакам кривизн [10, 17, 22] позволяют ввести также морфометрические статистики (МС), то есть числовые характеристики, оперирующие “элементами” этих классификаций – типами форм земной поверхности. Это позволяет дополнить известные методы статистической характеристики местностей, базирующиеся на анализе статистик гистограмм плотности распределения высоты, крутизны и ориентации склонов [7, 9, 15], новыми методами, основанными на использовании классификаций форм земной поверхности.

Горизонтальная кривизна kh есть наделенная знаком кривизна горизонтали, она описывает сближение линий тока на вогнутых отрогах и расхождение их на выпуклых отрогах [17, теорема 4], вертикальная кривизна kv описывает относительное замедление потоков на вогнутых террасах и относительное ускорение их на выпуклых террасах [17, теорема 5]. Доказана связь горизонтальной кривизны с 1-ым механизмом аккумуляции, вертикальной кривизны – со 2-ым механизмом аккумуляции [17]. Эти два механизма аккумуляции потоков схематически поясняются на рис.1.

При использовании знаков этих двух кри-

визн земную поверхность можно разделить на 4 типа форм, предложенные Ф. Трэхом [22], рис.2.

В работе [17] доказано, что при использовании для классификации знаков 12-ти кривизн земная поверхность может быть описана 46 типами форм, 34 из которых являются редкими, т.е. встречающимися с частотой меньше 0,0001, а 12 – основными.

Статистическая гипотеза Шарого [17] состоит в том, что вероятность встретить каждый основной тип формы земной поверхности одинакова и равна 1/12. Такой несколько неожиданный результат, т.е. предсказуемость частот определенных кривизнами типов форм, связан с известной негладкостью земной поверхности [13], вследствие которой замена несуществующих частных производных поверхности конечными разностями приводит к вероятностному описанию ее свойств. Эта важная гипотеза позволяет предсказывать частоты встречаемости различных типов форм (определенных знаками кривизн), и может быть проверена экспериментально, что и делается в данной работе. Поскольку разные типы форм классификации Треха (рис.2) оказываются составлены разным числом 12-ти основных типов форм классификации Шарого, то предска-

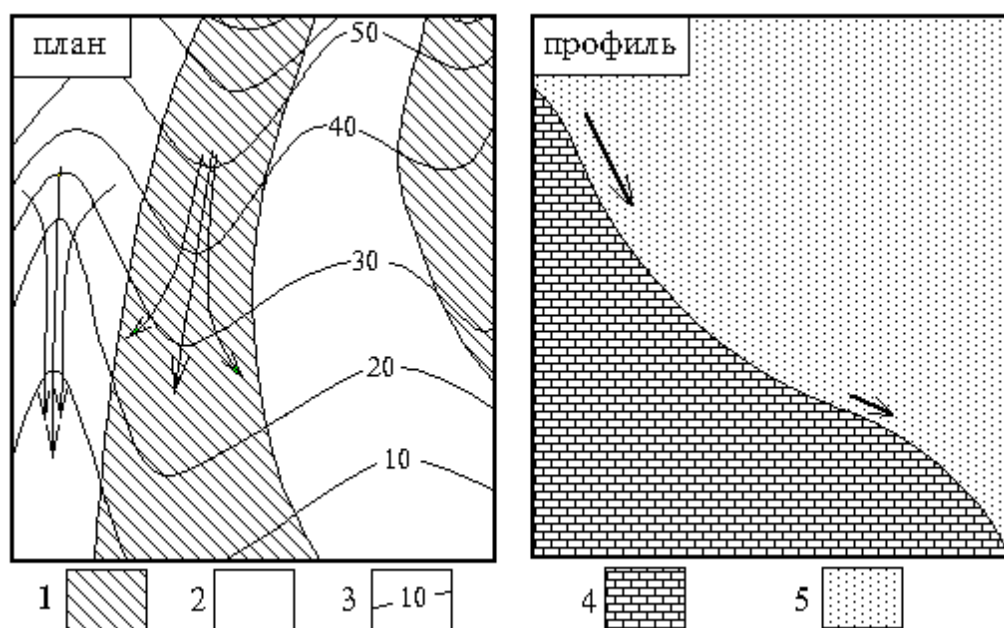


Рис.1. Слева – 1-ый механизм аккумуляции (за счет сближения линий тока в плане, эти перпендикулярные горизонталям линии показаны стрелками), изображена топографическая карта. Справа – 2-ой механизм аккумуляции (за счет относительного замедления потоков в профиле), показан разрез вдоль профиля склона. Условные обозначения: 1 – области дивергенции, 2 – области конвергенции, 3 – горизонтالي, 4 – грунт, 5 – воздух.

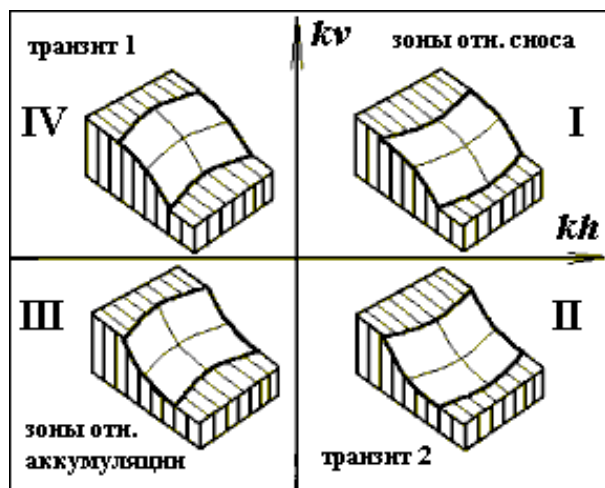


Рис.2. Схема показывает классификацию типов форм земной поверхности Трёха (Троех, 1964) по знакам кривизн:

kv – вертикальная кривизна, kh – горизонтальная кривизна. Римские цифры нумеруют квадранты.

зываемые значения частот (т.е., вероятности встретить данный тип формы при случайном бросании точки на карту) для этих типов форм оказываются различными [17].

А. Аандал [5] связал кривизны kh и kv с понятием отрогов и террас, соответственно. При этом он заметил, что отрицательным значениям kh соответствуют вогнутые отроги, а положительным – выпуклые отроги; отрицательным значениям kv соответствуют вогнутые террасы, а положительным – выпуклые террасы. Шарый с соавт. [19] показали, что могут существовать и другие определения отрогов и террас. В этой работе мы используем понятия отрогов и террас в определении Аандала.

Целью работы являлось проведение сравнительного изучения морфометрических статистик 17-ти равнинных и горных местностей (около 33 миллионов элементов крупномасштабных матриц высот общей площадью более 45 тыс. км²) с целью сравнения внутренней геометрии (текстуры) земной поверхности геоморфологически различных ландшафтов (равнинных и горных), поскольку возможность различать и анализировать ландшафты по их текстуре недостаточно изучена в литературе. Расчеты осуществлялись с помощью программного обеспечения “Аналитическая ГИС Эко” [18].

1. Материалы и методы

В таблице 1 дана краткая характеристика каждой из 17 местностей, для каждой из которых была сформирована цифровая матрица (сетка, “грид”) высот и матрицы kv и kh , а также некоторые характеристики этих матриц.

В матрицах проекта SRTM значения высот даны с округлением до целого числа метров [21], что приводит к увеличению числа “абсолютно горизонтальных” участков местности (редкие типы форм). Это особенно заметно при разрешении 1 дуговая секунда (шаг решетки около 30 м), и менее выражено при разрешении 3" (около 90 м). Такие участки являются обычно артефактами; соответствующие элементы матриц исключались из рассмотрения.

Недавнее сравнение нескольких алгоритмов расчета кривизн [20] позволяет отдать предпочтение расчету горизонтальной и вертикальной кривизн модифицированным методом Эванса-Янг, описанным в работе [19] поскольку оригинальный метод Эванса-Янг [6,23] способен выделять решеточные направления, а основанный на полиномах более высокого порядка метод Зевенбергера-Торне [24] оказывается излишне чувствительным к ошибкам в данных [20].

Следующие морфометрические статистики (МС) представляют интерес для целей данного исследования, ограниченного анализом типов форм классификации Трёха. Частоты (в скобках – предсказанные статистической гипотезой Шарого значения частот):

aa_I – зоны относительного сноса	(1/3)
aa_{II} – транзит 2	(1/6)
aa_{III} – зоны относительной аккумуляции	(1/3)
aa_{IV} – транзит 1	(1/6)
$kh-$ = $aa_{III}+aa_{IV}$ – вогнутые отроги	(1/2)
$kh+$ = aa_I+aa_{II} – выпуклые отроги	(1/2)
$kv-$ = $aa_{II}+aa_{III}$ – вогнутые террасы	(1/2)
$kv+$ = $aa_{I}+aa_{IV}$ – выпуклые террасы	(1/2)
зоны = aa_I+aa_{III} – зоны отн. аккумуляции + зоны отн. сноса	(2/3)
транзит = $aa_{II}+aa_{IV}$ – транзит 1 + транзит 2	(1/3)

Здесь индексы нумеруют квадранты, как показано на рис.2. Предсказанные значения

Таблица 1. Описание изучавшихся местностей и их цифровых матриц

Обозначения: w – шаг решетки матрицы, ΔZ – перепад высот, N – число элементов матрицы, в которых рассчитаны значения кривизн, S – площадь территории (в плане), N_p – число (и процент) элементов матрицы, отвечающих редким типам форм

Матрица	Краткое описание местности: климат / место	w, м	ΔZ, м	N	S, км ²	N _p	N _p , %
Равнинные местности							
Липецк-15	Гумидн. / Липецкая обл., РФ	15	49,0	328.821	73,98	15	0,0046
Волгоград-20	Аридн. / Волгоградская обл., РФ	20	73,3	248.848	99,54	0	0
Заповедник-20	Гумидн. / ПТЗ ¹ Моск. обл., РФ	20	82,0	264.575	105,8	0	0
Волга-15	Гумидн. / Тверская область, РФ	15	98,6	312.834	70,39	0	0
Пущино-7,5	Гумидн. / г.Пущино Моск. обл., РФ	7,5	115	373.096	20,99	0	0
Б.Грызлово-50	Гумидн./Рн Б.Грызлово, юг МО, РФ	50	130	116.367	290,9	0	0
Заокский-50	Гумидн. / С-з Заокский, юг МО, РФ	50	145	116.487	291,1	30	0,0258
Оренбург-50	Гумидн. / Оренбургская обл., РФ	50	290	541.908	1355	0	0
Горные страны							
Абрау-20	Аридн. / Абрау Краснодарск.кр., РФ	20	553	235.007	94,0	0	0
Пинон-90	Аридн. / Pinon Canyon, США ²	90	1000	1.430.416	11586	24	0,0017
Крым-100	Аридн. / Юг Крымск.п-ва, Украина	100	1571	471.388	4714	0	0
Бавария-40	Гумидн. / озера Баварии, Германия	40	2112	277.113	443	0	0
Вашингтон-90	Гумидн. / Юг шт. Вашингт., США ²	90	3378	1.405.303	11383	3	0,0002
Вашингтон-30	Гумидн. / Юг шт. Вашингт., США ²	30	3387	12.755.651	11479	1467	0,0115
Гавай-90	Аридн. / Вулкан о-ва Гавай ³ , США ²	90	4192	1.073.403	8695	6	0,0006
Гавай-30	Аридн. / Вулкан о-ва Гавай ² , США ²	30	4197	9.723.022	8749	1824	0,0188
Эльбрус-100	Аридн. / Приэльбрусье, РФ	100	4493	107.046	1070	0	0

¹ – ПТЗ = Приокско-террасный государственный биосферный заповедник
² – Матрицы Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) по трапеции размером 1°×1° (SRTM, 2002).
 Такие трапеции SRTM имеют юго-западный угол: “Пинон-90” - 37° с.ш., 104° з.д.;
 “Вашингтон-90” и “Вашингтон-30” - 45° с.ш., 122° з.д.;
 “Гавай-90” и “Гавай-30” - 19° с.ш., 156° з.д.
³ – Участок поверхности океана отсекался так, что рассматривались только абс.высоты больше 40м

частот для типов форм Трёх не одинаковы, поскольку зоны относительной аккумуляции и зоны относительного сноса составлены каждая четырьмя типами форм Шарого, а транзит 1 и транзит 2 – только двумя [17].

При определении любой из этих частот типов форм Трёх используется лишь часть элементов матрицы высот, т.е. описывается часть территории. В этой связи и для расширения набора МС имеет смысл рассмотреть также следующие отношения частот:

$$kh-/kh+ = (aa_{III}+aa_{IV}) / (aa_I+aa_{II}) - \text{вогнутые/выпуклые отроги} \quad (1)$$

$$kv-/kv+ = (aa_{II}+aa_{III}) / (aa_I+aa_{IV}) - \text{вогнутые/выпуклые террасы} \quad (1)$$

$$\text{акк/снос} = aa_{III} / aa_I - \text{зоны отн. аккумуляции / зоны отн. сноса} \quad (1)$$

$$\text{тр1/тр2} = aa_{IV} / aa_{II} - \text{транзит 1 / транзит 2} \quad (1)$$

$$\text{зоны/транзит} = (aa_I+aa_{III}) / (aa_{II}+aa_{IV}) - \text{зоны акк. и сн. / транзит} \quad (2)$$

В скобках указаны предсказанные значения отношений частот.

Статистическая связь между перепадом высот и морфометрическими статистиками оценивалась с помощью рангового коэффициента корреляции Спирмана r_s и уровня значимости P. Результаты рассматривались как статистически достоверные при $P < 0,05$. В отличие от коэффициента детерминации R^2 , этот коэффициент корреляции является непараметрическим (т.е. не предполагает неочевидного здесь нормального закона распределения для сравниваемых величин) и не зависит от того, прологарифмирован перепад высот или нет [2].

2. Проверка статистической гипотезы

Статистическая гипотеза Шарого [17] была предложена на основании теоретических рассуждений, поэтому имеет смысл ранее не проводившаяся экспериментальная проверка этой гипотезы. Результаты проверки для матрицы “Вашингтон-30” показаны на рис.3.

Эти результаты показывают, что в целом статистическая гипотеза Шарого подтверждается, хотя и наблюдаются сравнительно небольшие отклонения. Например, предсказанное значение отношения частот “зоны/транзит” равно 2, а наблюдается 1,59; тем не менее, это отношение частот существенно превышает 1 (для всех 17 матриц), как и предсказывает статистическая гипотеза Шарого. Это позволяет понять до сих пор не имевшее объяснений экспериментально обнаруженное Эвансом более чем на 50 матрицах явление устойчиво положительной корреляции между kv и kh [8, 9]. Таким образом, геоморфологическая специфика местностей может описываться лишь сравнительно небольшим отклонением теоретических значений частот от наблюдаемых и сравнением этих отклонений с другими имеющими геоморфологический смысл характеристиками рельефа или местности (см. ниже).

Аналогичные результаты получены нами и для всех других матриц таблицы 1.

В этой работе МС сравниваются с перепадом высот, т.е. разностью между наибольшей и наименьшей высотой в данной матрице. Перепад высот позволяет оценить, является местность равнинной или горной, при условии, что размер территории достаточно велик, т.е. это не склон отдельного холма, но содержит в себе несколько холмов или горных массивов. Такое условие ослабляет влияние границ матрицы (т.е., перепад высот перестает быть трудноинтерпретируемой характеристикой местности, сильно зависящей от выбора ее границ), но не снимает его полностью. Все анализируемые территории отвечают этому условию.

3. Результаты

Результаты для частот вогнутых отрогов

и вогнутых террас представлены на рис.4.

Эти результаты показывают, что частоты как вогнутых отрогов, так и вогнутых террас возрастают в горных странах по сравнению с равнинными местностями. Таким образом, отклонения наблюдаемых частот от предсказанных носят закономерный характер. Отметим еще, что частота вогнутых отрогов меньше предсказанной для всех матриц местностей, кроме “Эльбрус-100”, для которой наиболее высок перепад высот, $DDZ = 4493$ м.

Ясно, что возрастание частоты вогнутых отрогов с ростом DDZ означает убывание частоты выпуклых отрогов $kh+$ с ростом DDZ , а возрастание частоты вогнутых террас – убывание частоты выпуклых террас $kv+$ с ростом DDZ .

Результаты для зон относительной аккумуляции и зон относительного сноса представлены на рис.5.

Эти результаты показывают, что частота зон относительной аккумуляции возрастает в горных странах, в то время как частота зон относительного сноса возрастает на равнинных местностях. Ясно что отношение частот акк/снос также возрастает с перепадом высот DDZ ; для корреляции между этим отношением и DDZ имеем $r_s = 0,89$ ($P < 10^{-5}$), т.е. для нее

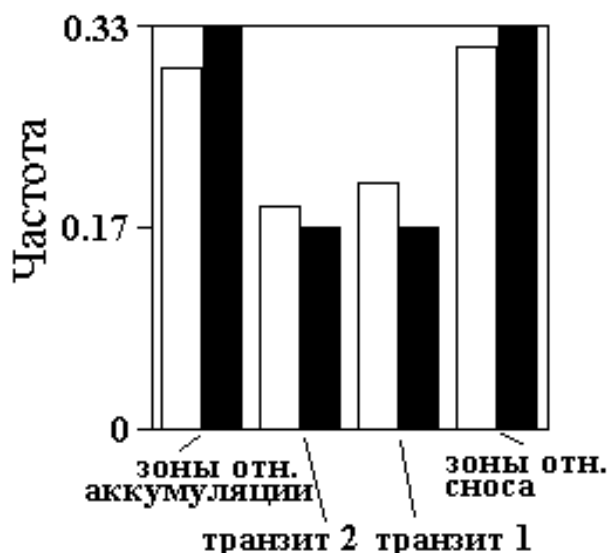


Рис.3. Гистограмма предсказанных статистической гипотезой Шарого (черные столбики) и наблюдаемых (белые столбики) частот, отвечающих четырем типам форм Треха, для матрицы “Вашингтон-30” (12,8 миллионов элементов матрицы). Видно удовлетворительное согласие предсказанных и наблюдаемых частот.

r_s больше, чем на приведенных выше графиках.

Для отношений частот $kh-/kh+$ и $kv-/kv+$ имеем $r_s = 0,86$ ($P < 10^{-4}$) и $r_s = 0,78$ ($P < 10^{-3}$), соответственно. Для частот форм транзит 1 (aa_{IV}) имеем $r_s = -0,60$ ($P < 0,05$), для частот форм транзит 2 (aa_{II}) и отношения частот $tr1/tr2$ корреляция с DDZ статистически незначима.

Результаты для частот транзита и частот зон показаны на рис.6.

Эти результаты показывают, что в обоих случаях значения частот существенно отклоняются от предсказанных, однако в разные стороны. Корреляция также имеет разные знаки, но уровень значимости относительно невысок и отклонения от линейной или монотонной зависимости достаточно заметны. Таким образом, при рассмотрении классификации Трёха отклонения от статистической гипотезы Шарога могут быть связаны с отклонениями в статистике зон относительной аккумуляции и сноса, и соответственно, областей транзита.

4. Обсуждение

Статистическая гипотеза Шарога о предсказуемом характере частот типов форм земной поверхности в классификации Трёха в целом подтверждена на 17 матрицах

местностей.

Вместе с тем, наблюдаются закономерные отклонения от предсказываемых значений, которые могут использоваться для анализа специфики ландшафтов различных местностей посредством использования внутренней геометрии (текстуры) рельефа местности. Выявленные закономерности состоят в том, что наблюдаемые частоты встречаемости вогнутых отрогов и террас, а также зон относительной аккумуляции устойчиво возрастают от равнинных местностей к горным странам, в то время как частоты встречаемости зон относительного сноса убывают. При этом наблюдается линейная зависимость (в статистическом смысле) этих частот от логарифма перепада высот DDZ.

Поскольку текстура земной поверхности существенно менее чувствительна к положению границ рассматриваемой территории по сравнению с DDZ, то могут рассматриваться меньшие участки местности (для которых перепад высот уже малоинформативен), по внутренней геометрии которых можно определять, относится территория к горной или равнинной.

Причиной преобладания вогнутых типов форм Трёха в горных странах по сравнению с равнинными местностями, возможно, являются процессы денудации, поскольку они стре-

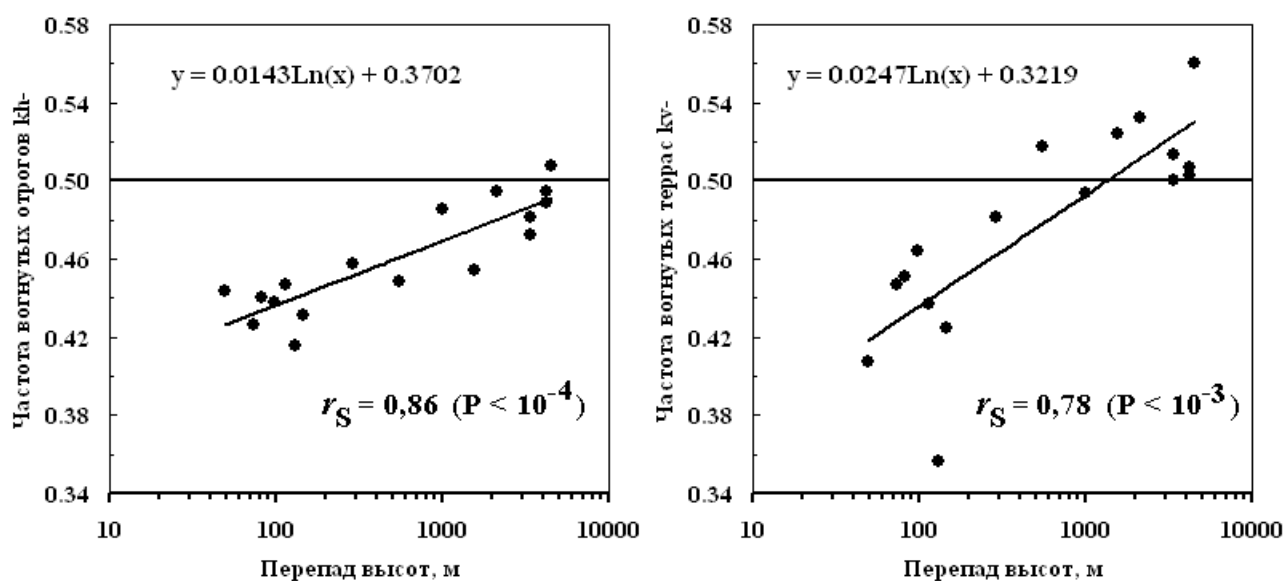


Рис.4. Зависимость частот вогнутых отрогов $kh-$ (слева) и частот вогнутых террас $kv-$ (справа) от перепада высот для 17 матриц местностей, описанных в таблице 1. Шкала перепада высот – логарифмическая. Горизонтальный отрезок показывает предсказанное значение частоты.

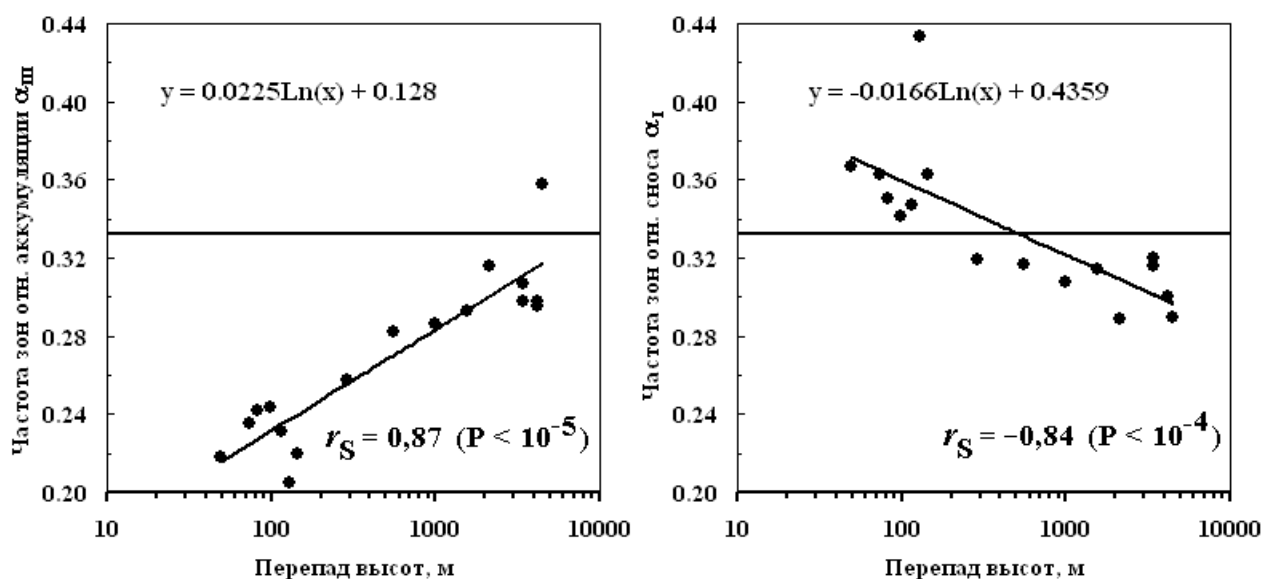


Рис.5. Зависимость частот зон относительной аккумуляции α_{III} (слева) и частот зон относительного сноса α_I (справа) от перепада высот для 17 матриц местностей, описанных в таблице 1. Шкала перепада высот – логарифмическая. Горизонтальный отрезок показывает предсказанное значение частоты.

мятся заполнять вогнутые формы твердым (сыпучим) материалом на геологических временах (например, [1]). Здесь возможно различить следующие две ситуации.

(1). Предположим, что тектонические процессы достаточно слабы, и доминируют процессы денудации. В этом случае отрицательные (вогнутые) формы стремятся быть засыпанными твердым (сыпучим) материалом в процессе денудации, в то время как положительные (выпуклые) формы оказываются бо-

лее стабильны в том смысле, что они становятся ниже, но не исчезают совсем. С другой стороны, эта ситуация характерна как раз для равнинных местностей из-за сильной денудации. Здесь можно ожидать, что частота встречаемости вогнутых отрогов и террас окажется пониженной.

(2). Предположим, тектонические процессы относительно активны, и процессы денудации не играют столь существенной роли. Для этой ситуации характерно стремление

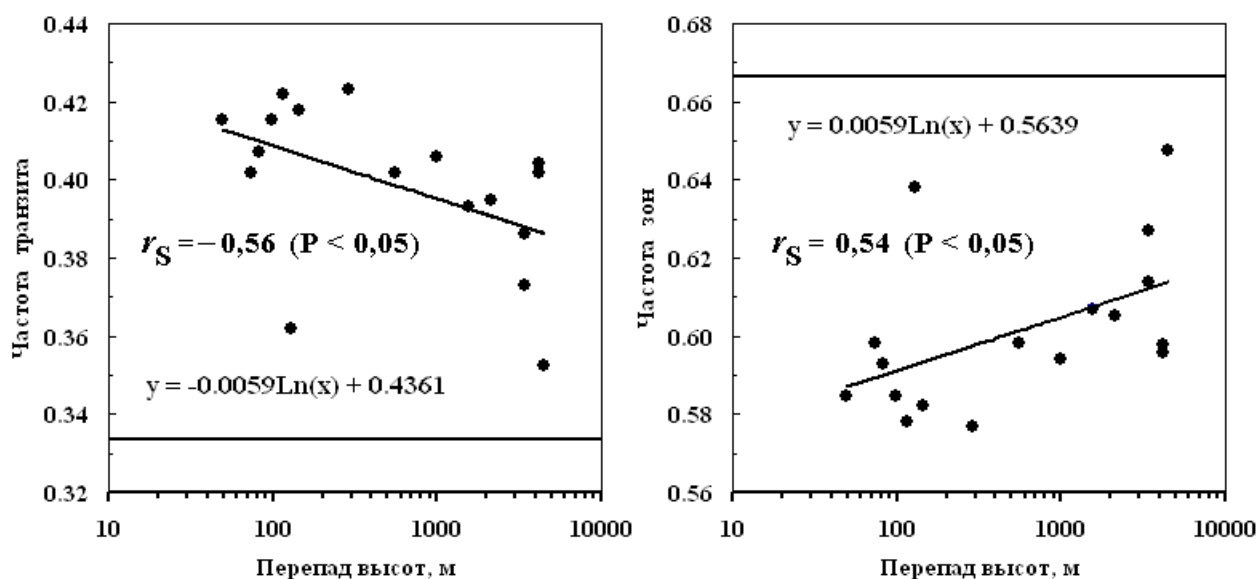


Рис.6. Зависимость частот транзита (слева) и частот зон (справа) от перепада высот для 17 матриц местностей, описанных в таблице 1. Шкала перепада высот – логарифмическая. Горизонтальный отрезок показывает предсказанное значение частоты.

отрицательных форм не быть полностью засыпанными сыпучим материалом, и частоты встречаемости вогнутых отрогов и террас могут оказываться такими же (или меньше), чем частоты выпуклых отрогов и террас.

Явления такого рода как раз и обнаруживаются в настоящем исследовании, причем на базе количественных методов общей геоморфометрии, основанных на классификациях форм земной поверхности.

В то же время, отдельное рассмотрение привершинных участков гор (холмов) и участков близ их подножия, склонов различной экспозиции, притальвеговых и приводораздельных областей и т.п. могло бы дать дополнительную информацию о специфике ландшафтов. Кроме того, исследование морфометрических статистик других классификаций, таких как Гаусса [10], Шарого [17] или нелокальных, на которые не распространяется гипотеза Шарого о статистической предсказуемости частот типов форм (см., например, понятия нелокально определяемых депрессий и холмов в работе [19]), могло бы дать более углубленный анализ специфики местностей, в том числе, в ее связи с климатом, гидрологией, геологией, почвами и другими характеристиками местностей.

Современные методы статистического описания местностей могут быть расширены применением морфометрических статистик, связанных с классификацией форм земной поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пенк В. Морфологический анализ. М.: Гос. изд-во географ. лит., 1961.
2. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. М.: Финансы и статистика, 1982.
3. Шарый П.А. Топографический метод вторых производных / Геометрия структур земной поверхности. Отв. ред. И.Н. Степанов, отв. за выпуск П.А. Шарый. Пушино: Пушинский научный центр АН СССР, 1991.
4. Шарый П.А., Курякова Г.А., Флоринский И.В. О международном опыте применения методов топографии в ландшафтных исследованиях (краткий обзор) / Геометрия структур земной поверхности. Отв. ред. И.Н. Степанов, отв. за выпуск П.А. Шарый. Пушино: Пушинский научный центр АН СССР, 1991.
5. Aandahl, A.R. The characterization of slope positions and their influence on the total nitrogen content of a few virgin soils of Western Iowa. Soil Science Society of America Proceedings, 1948. Vol.13.
6. Evans, I.S., General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: R.J.Chorley (ed.). Spatial Analysis in Geomorphology. London: Methuen & Co., Ltd., 1972. Ch.2.
7. Evans, I.S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. Final Report (Report 6) on Grant DA-ERO-591-73-G0040, 'Statistical characterization of altitude matrices by computer'. Department of Geography, University of Durham, England. 1979.
8. Evans I.S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Suppl.-Bd.1980. Vol.36.
9. Evans I.S., Cox N.J. Relations between land surface properties: altitude, slope and curvature. In: S.Hergarten, H.J. Neugebauer (eds.). Process Modelling and Landform Evolution. Berlin, etc., Springer, 1999.
10. Gauss C.F. Disquisitiones generales circa area superficies curvas. Gott. gel. Anz., 1827. No.177. Имеется перевод: Гаусс К.Ф. Общие исследования о кривых поверхностях. В сборнике: Об основаниях геометрии. М.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1956.
11. Krcho J. Morphometric analysis of relief on the basis of geometric aspect of field theory. Acta Geographica Univ. Comeniana, Geographico-Physica, 1973. No.1.
12. Krcho, J. Matematické vlastnosti georeliéfu z gl'adiska geometrických foriem a jeho modelovanie aproximujúcimi funkciami dvoch premenných. Geografická časopis, 1989. Vol.38. No.2-3.
13. Mandelbrot B. How long is the coast of Britain? Statistical self-similarity and

- fractional dimension. *Science*, 1967. Vol.156(3775).
14. *Moore I.D., Grayson R.B., Ladson A.R.*, Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 1991. Vol. 5.
15. *O'Neill M.P., Mark, D.M.* On the frequency distribution of land slope. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1987. Vol.12.
16. *Pike R.J.* Geomorphometry – Diversity in quantitative surface analysis. *Progress in Physical Geography*, 2000. Vol. 24.
17. *Shary P.A.* Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures. *Mathematical Geology*, 1995. Vol. 27, No.3.
18. *Shary P.A.* Analytical GIS Eco. Website <http://members.fortunecity.com/eco4/giseco>. 2001.
19. *Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V.* Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma*, 2002. Vol.107. No.1-2.
20. *Schmidt J., Evans I.S., Brinkmann J.* Comparison of polynomial models for land surface curvature calculation. *International Journal of Geographical Information Science*. 2003.
21. SRTM. Shuttle Radar Topography Mission (USA-Italy-Germany). Data and descriptions are available at this website: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm>. 2002.
22. *Troeh F.R.* Landform parameters correlated to soil drainage. *Soil Science Society of America Proceedings*. 1964. Vol.28. No.6.
23. *Young M.* Terrain analysis: program documentation. Report 5 on Grant DA-ERO-591-73-G0040, 'Statistical characterization of altitude matrices by computer'. Department of Geography, University of Durham, England. 1978.
24. *Zevenbergen L.W., Thorne C.R.*, Quantitative analysis of land surface topography. *Earth surface processes and landforms*. 1987. Vol.12. No.1.

USE OF MORPHOMETRIC STATISTICS TO DESCRIBE INTERNAL GEOMETRY OF GENTLY SLOPING AND MOUNTAINOUS TERRITORIES

© 2003 L.S. Sharaya¹, P.A. Shary²

¹ Institute of Ecology of Volga River Basin of Russian Academy of Sciences, Togliatti

² Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science of Russian Academy of Sciences, Puschino

Known statistical methods of terrain analysis, such as analysis of histograms of frequency distributions of elevation, slope steepness, and aspect, may be strengthened by methods that are based on use of morphometric statistics, that is, by analysis of frequencies to meet various land form types. New morphometric statistics (frequencies of land form types and their ratios) are introduced and studied in this paper on a large data array (17 large-scale digital elevation matrices with total area greater than 45,000 km², total number of matrix elements about 33 millions) that are based on Troeh's [22] land form classification. It is shown that these characteristics are in general predictable, but there are relatively small deviations from predicted values that demonstrate dependence on terrain relief DDZ. The relationships consist in linear dependence (in a statistical sense) of some of frequencies on logarithm of DDZ. Negative forms of Troeh's classification dominate in mountainous territories, while positive dominate in gently sloping ones. A possible interpretation of these results is suggested as results of denudation processes accomplished by parallel tectonical processes on geological times. Possibilities are discussed to use other land form classifications, for which morphometric statistics may be either statistically predictable, or unpredictable, that is, directly describing terrain specifics.