

ШКАЛЫ УКЛОНОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И СПОСОБЫ ИХ РАЗРАБОТКИ

С. В. Осипов

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Дальневосточный федеральный университет, Россия

Поступила в редакцию 11 июня 2014 г.

Аннотация: Уклоны земной поверхности в большинстве случаев определяются и характеризуются в количественных значениях. Но при решении ряда задач предпочтительным оказывается применение ординальных шкал (шкал порядка). При подборе или разработке шкалы уклонов важнейшие составляющие – выбор функции и задание числа градаций. Эти составляющие во многом определяются детальностью анализа в разных диапазонах уклонов. В предлагаемых шкалах использованы геометрические и арифметические прогрессии и тригонометрические функции. Как формальное основание они хорошо соответствуют содержательной основе шкал уклонов земной поверхности.

Ключевые слова: ландшафт, рельеф, наклонная поверхность, крутизна склона, классификация склонов, классификация фаций.

Abstract: Generally slopes of the earth surface could be measured and characterized by quantities. However the solution of a number of matters implies application of ordinal scales. The main constituents within the process of selection or development of slope grids are selection of the functional relation gradation figure referencing. The aforementioned constituents are estimated largely by the detail of investigation over different slopes' deviation scope. The proposed scales are developed with the use of geometrical and arithmetical progressions and trigonometrical functions as on the formal ground they refer to correspond closely to the substantial basis of earth surface's slope grids.

Key words: landscape, terrain, sloping surface, degree of a slope, classification of slopes, classification of facies.

Шкалы уклонов довольно часто используются в ландшафтоведении, геоэкологии, геоморфологии, гидрологии и других научных дисциплинах, в строительстве, сельском хозяйстве, военном деле, туризме и других видах практической деятельности. Уклон земной поверхности – один из самых простых и очень важных ландшафтных параметров. Он относительно легко измеряется и очень информативен и с точки зрения морфологии, и с точки зрения функционирования ландшафта. Разные виды экологических систем, экзогенных процессов, геохимических потоков, хозяйственной деятельности, рекреационной активности и многие другие процессы и явления в каждом типе ландшафта имеют вполне явную приуроченность к определенному диапазону уклонов.

В большинстве случаев уклоны земной поверхности определяются и характеризуются в количественных значениях (градус, промилле). Но при решении ряда задач весьма удобным и более предпочтительным оказывается применение ординаль-

ных шкал (шкал порядка). Ординальные шкалы уклонов широко используются, например, при классификации и наименовании географических комплексов (прежде всего, фаций и урочищ), при классификации и характеристике форм рельефа, при выделении и описании местообитаний биологических видов и сообществ.

Приведем некоторые шкалы из известных руководств. Л. Г. Раменский [8, с. 172-173] предложил следующие градации уклонов:

0,5-2° – отлогости и наклонные равнины:

0,5-1° – слабо наклонные равнины,

1-2° – выраженные отлогости;

2-7° – пологие склоны:

2-3° – очень пологие склоны,

3-5° – средне пологие склоны,

5-7° – довольно пологие склоны;

7-15° – покатые склоны:

7-11° – умеренно покатые склоны,

12-15° – сильно покатые склоны;

15-40° – крутые склоны:

15-25° – умеренно крутые склоны,

25-40° – сильно крутые склоны;
 свыше 40° – обрывистые склоны;
 40-50° – умеренно обрывистые склоны,
 50-60° – сильно обрывистые склоны,
 свыше 60° – обрывы.

В. И. Прокаев [6, с. 13] привел следующую шкалу крутизны склонов:

0,5-1° – ровные, близкие к горизонтальным;
 1-3° – очень пологие;
 3-5° – пологие;
 5-8° – покатые;
 8-12° – сильно покатые;
 12-16° – умеренно крутые;
 16-20° – крутые;
 20-30° – очень крутые;
 30-45° – обрывистые;
 больше 45° – обрывы.

О. К. Леонтьев и Г. И. Рычагов [4, с. 122] выделили следующие категории склонов:

≥ 35° – очень крутые;
 15-35° – крутые;
 8-15° – средней крутизны;
 4-8° – пологие;
 2-4° – очень пологие.

В. К. Жучкова и Э. М. Раковская [3, с. 133-134] рекомендовали две шкалы. Авторы отметили, что «для равнинных стран наиболее употребительны следующие градации поверхностей по крутизне уклона»:

0-1° – плоские (субгоризонтальные);
 1-3° – слабонаклонные равнины (очень пологие склоны);
 3-5° – склоны пологие (наклонные равнины);
 5-7° – слабопокатые;
 7-10° – покатые;
 10-15° – сильнопокатые;
 15-20° – крутые;
 20-40° – очень крутые;
 > 40° – обрывистые.

«Для горных стран могут быть приняты иные градации» [3, с. 134]:

0-4° – плоские и почти плоские поверхности;
 4-10° – пологие склоны;
 10-20° – покатые склоны;
 20-30° – склоны средней крутизны
 30-45° – крутые склоны
 45-60° – очень крутые склоны;
 60-90° – скалистые (обрывистые) склоны.

Обращает на себя внимание тот факт, что принципы выделения градаций уклонов всеми авторами не оговариваются. Судя по всему, отсутствуют формальные правила построения и приведенных

и многих других шкал. В последней работе [3] одни и те же термины использованы для обозначения разных уклонов в равнинных и горных странах, что может вызвать путаницу при изучении контрастных территорий и сравнительном анализе контрастных типов ландшафтов.

Изложенные представления определили задачу данной статьи: рассмотреть возможные формальные правила выделения градаций и составления шкал уклонов, или, другими словами, рассмотреть способ дискретизации числовой шкалы уклонов.

При разработке шкал уклонов в статье использованы элементарные положения теории шкал [2, 7]. Для дискретизации числовой шкалы уклонов опробованы элементарные математические функции [1]. На их основе получены различные числовые ряды. Значения числового ряда рассматривались и оценивались в трех вариантах: как значения границ градаций, как величины градаций (т.е. расстояния между соседними границами градаций) и как средние значения градаций.

Существующие шкалы уклонов – это, как правило, неравномерные шкалы, в которых малые уклоны подразделяются более детально, а большие уклоны – менее детально. При этом с увеличением уклона размер градаций увеличивается, в большинстве случаев с ускорением. Число градаций весьма различно. В некоторых шкалах [8] градации сгруппированы, и шкала может использоваться в более обобщенном или детальном вариантах.

Представим профиль наклонной поверхности как гипотенузу c прямоугольного треугольника, ее проекцию на горизонтальную плоскость – как прилежащий катет b , его проекцию на вертикальную плоскость – как противолежащий катет a (a представляет собой также перепад высот), угол α – как уклон (рис.). На основе этой модели хорошо различать три обычных подхода к определению уклонов: (1) измерение угла α , (2) измерение длины склона c и перепада высот a и последующее

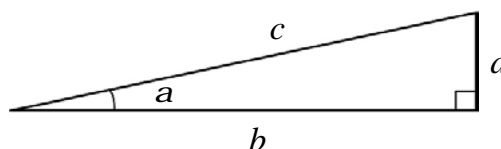


Рис. Геометрическая модель наклонной поверхности (вид сбоку)

c – наклонная поверхность, a – ее вертикальная проекция (перепад высот), b – ее горизонтальная проекция, α – угол наклона (уклон)

вычисление $\frac{a}{c} = \sin a$, (3) измерение длины проекции склона b и перепада высот a и последующее вычисление $\frac{a}{b} = \tan a$. В первом подходе уклон обычно выражается в величине угла a (как правило, в градусах), во втором – в величине отношения a/c (в тысячных долях, в метрах на 1000 м склона или промилле), в третьем – в величине отношения a/b (в тысячных долях, в метрах на 1000 м проекции склона или промилле, процентах). Любой способ измерения позволяет вычислить все другие величины (на основе свойств прямоугольного треугольника).

Предлагаемые в настоящей работе шкалы приведены в двух вариантах. Один вариант – на основе величины угла a , в градусах, другой – на основе величины $1000 \times \frac{a}{c} = 1000 \times \sin a$, в метрах на каждые 1000 м склона или промилле (эту величину нельзя путать с величиной $1000 \times \frac{a}{b} = 1000 \times \tan a$, как правило, измеряемой так же в промилле). Градации шкал, в том числе границы градаций, сделаны неперекрывающимися. Округление проведено с точностью до целых значений на завершающем шаге. На основе зеркального отображения шкалы продлены и для поверхностей с отрицательными уклонами (нависающих поверхностей).

Шкалы 1, 2 и 3 разработаны на основе величины угла a . При их разработке приняты следующие исходные посылки. Уклон 0° – горизонтальная поверхность, 1° – субгоризонтальная, 89° – субвертикальная, 90° – вертикальная поверхность. Требуется разделить диапазон от 1° до 89° .

Анализируя характер существующих шкал уклонов и перебирая элементарные функции и операции, приходим к тому, что весьма подходящей является геометрическая прогрессия. Шкала 1 построена на основе простейшей геометрической прогрессии с первым членом равным 1 и коэффициентом (знаменателем) прогрессии 2 (таблица). Шкала 2 разработана на основе геометрической прогрессии с первым членом равным 89 и коэффициентом прогрессии $1/2$. Шкала 3, близкая шкале 2, составлена на основе геометрической прогрессии с первым членом 89 и коэффициентом прогрессии $10/19$ (т.е. каждый последующий член прогрессии вычисляется делением предыдущего на 1,9), и, по мнению автора, так же заслуживает пристального внимания. Вторые варианты шкал

1, 2 и 3 для величины $1000 \times \frac{a}{c}$, в метрах на каждые 1000 м или промилле, пересчитаны на основе функции $\sin a$ (таблица).

Для разработки шкалы 4 использовано отношение a/b . Шкала построена на основе геометрической прогрессии, k -ый член которой равен 1 и коэффициент (знаменатель) равен 3. Первый вариант шкалы для величины угла a в градусах рассчитан на основе функции $\arctan a$. Второй вариант шкалы для величины $1000 \times \frac{a}{c}$, в метрах на каждые 1000 м или промилле, рассчитан на основе величины угла a и функции $\sin a$ (таблица).

Несколько слов об арифметических прогрессиях. Они редко используются для разработки шкал целиком, как результат – почти полное отсутствие равномерных шкал уклонов. Но они нередко применяются на отдельных отрезках шкал: с меньшим шагом для пологих поверхностей и с большим шагом для крутых (например, это можно видеть в приведенных выше шкалах из работ Л.Г. Раменского, В.К. Жучковой и Э.М. Раковской). Кроме этого, арифметическая прогрессия дает важные результаты при сочетании с другими функциями, в частности тригонометрическими.

Шкалы 5 и 6 разработаны на основе значений отношения a/c . Приняты следующие исходные посылки. Поверхность рассматривается как горизонтальная, если перепад высот a равен 0-2 м на 1000 м поверхности c , и как субгоризонтальная, если перепад высот a равен 3-19 м на 1000 м поверхности c . Поверхность рассматривается как вертикальная, если отклонение от вертикали составляет 0-2 м на 1000 м поверхности c (т.е. перепад высот от 998 до 1000 м на 1000 м), и как субвертикальная, если отклонение от вертикали составляет 3-20 м на 1000 м поверхности c (т.е. перепад высот от 980 до 997 м на 1000 м). Требуется разделить диапазон значений от 20 до 980.

Шкала 5 построена на основе арифметической прогрессии, в которой первый член равен 20, седьмой – 980 и разность соседних членов прогрессии равна 160. Шкала 6 разработана на основе геометрической прогрессии с первым членом, равным 980 и коэффициентом прогрессии $100/192$ (т.е. второй и последующие члены вычисляются на основе деления предыдущего на 1,92). Вторые варианты шкал 5 и 6 для величины угла a в градусах пересчитаны на основе функции $\arcsin a$ (таблица).

Шкала	Поверхность							
	(суб)горизонтальная		покатая ← → крутая					
	1	2	3	4	5	6	7	8
Числовой ряд 1	0.5	1	2	4	8	16	32	64
Шкала 1: α , град.	0	1	2–3	4–7	8–15	16–31	32–63	64–88
Размер градации	0	0	1	3	7	15	31	24
Шкала 1: a/c , ‰	0–17	18–34	35–69	70–139	140–275	276–529	530–898	899–998
Размер градации	17	16	34	69	135	253	368	99
Числовой ряд 2	0.3	0.7	1.4	2.8	5.6	11.1	22.3	44.5
Шкала 2: α , град.	0	1	2	3–5	6–11	12–22	23–44	45–88
Размер градации	0	0	0	2	5	10	21	43
Шкала 2: a/c , ‰	0–12	13–24	25–48	49–96	97–192	193–378	379–700	701–998
Размер градации	12	11	23	47	95	185	321	297
Числовой ряд 3	0.5	1.0	1.9	3.6	6.8	13.0	24.7	46.8
Шкала 3: α , град.	0	1	2–3	4–6	7–12	13–24	25–46	47–88
Размер градации	0	0	1	2	5	11	21	41
Шкала 3: a/c , ‰	0–17	18–33	34–62	63–118	119–224	225–417	418–729	730–998
Размер градации	17	15	28	55	105	192	311	268
Числовой ряд 4	0.00	0.01	0.04	0.11	0.33	1	3	9
Шкала 4: α , град.	0	1–2	3–6	7–18	19–44	45–71	72–83	84–87
Размер градации	0	1	3	11	25	26	11	3
Шкала 4: a/c , ‰	0–12	13–37	38–110	111–316	317–707	708–948	949–993	994–998
Размер градации	12	24	72	205	390	240	44	4
Числовой ряд 5			20	180	340	500	660	820
Шкала 5: a/c , ‰	0–2	3–19	20–179	180–339	340–499	500–659	660–819	820–979
Размер градации	2	16	159	159	159	159	159	159
Шкала 5: α , град.	0	1	2–10	11–19	20–29	30–41	42–55	56–78
Размер градации	0	0	8	8	9	11	13	22
Числовой ряд 6	5.3	10.2	19.6	37.6	72.1	138.5	265.8	510.4
Шкала 6: a/c , ‰	0–2	3–19	20–37	38–72	73–138	139–265	266–510	511–979
Размер градации	2	16	17	34	65	126	244	468
Шкала 6: α , град.	0	1	2	3–4	5–7	8–15	16–30	31–78
Размер градации	0	0	0	1	3	6	14	47

Предлагаемые шкалы имеют два уровня дробности (детальности): в обычном диапазоне уклонов – 4 и 10 градаций (с учетом отрицательных уклонов – 7 и 19 градаций). Названия градаций построены на основе общепринятых терминов и сделаны возможно более однотипными и простыми. Названия более обобщенных градаций едины для всех шкал. Это (суб)горизонтальная, покатая, крутая, (суб)вертикальная, нависающая крутая, нависающая покатая и нависающая (суб)горизонтальная поверхности (таблица). Для более детальных градаций разных шкал есть некоторые различия. Так, для шкал 1, 2 и 3 приняты следующие названия поверхностей: 1 – горизонтальная; 2 – субгоризонтальная; 3 – слабо покатая; 4 – средне покатая; 5 – сильно покатая; 6 – слабо крутая; 7 – средне крутая; 8 – сильно крутая; 9 – субвертикальная;

10 – вертикальная; 11 – нависающая субвертикальная; 12 – нависающая сильно крутая; 13 – нависающая средне крутая; 14 – нависающая слабо крутая; 15 – нависающая сильно покатая; 16 – нависающая средне покатая; 17 – нависающая слабо покатая; 18 – нависающая субгоризонтальная; 19 – нависающая горизонтальная.

Для шкал 4, 5 и 6 целесообразно изменить наименование некоторых градаций. Так в шкале 4 целесообразно принять следующие названия: 4) – сильно покатая; 5) – слабо крутая; 6) – средне крутая; 7) – сильно крутая; 8) – предельно (очень сильно) крутая. В шкале 5 в качестве покатых поверхностей стоит рассматривать только градации 3 и 4 (так же, как в шкале 4), а в качестве крутых – градации 5–8 (9). В шкале 6 в качестве покатых поверхностей стоит рассматривать градации 3–6, а в

уклонов

Поверхность										
(суб)вертикальная			нависающая крутая ← → нависающая покатая						нависающая (суб)горизонтальная	
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
89 0 999 0	90 0 1000 0	91 0	92–116 24	117–148 31	149–164 15	165–172 7	173–176 3	177–178 1	179 0	180 0
89.0 89 0 999 0	90 0 1000 0	91 0	92–135 43	136–157 21	158–168 10	169–174 5	175–177 2	178 0	179 0	180 0
89.0 89 0 999 0	90 0 1000 0	91 0	92–133 41	134–155 21	156–167 11	168–173 5	174–176 2	177–178 1	179 0	180 0
27 88–89 1 999 0	81 90 0 1000 0	91–92 1	93–96 3	97–108 11	109–135 26	136–161 25	162–173 11	174–177 3	178–179 1	180 0
980 980–997 17	998–1000 2									
79–86 7	87–90–93 6	94–101 7	102–124 22	125–138 13	139–150 11	151–160 9	161–169 8	170–178 8	179 0	180 0
980.0 980–997 17	998–1000 2									
79–86 7	87–90–93 6	94–101 7	102–149 47	150–164 14	165–171 6	172–175 3	176–177 1	178 0	179 0	180 0

качестве крутых – градации 7-8 (9). Симметричные изменения необходимо внести и в названия нависающих поверхностей этих шкал.

На основе рассмотренных функций несложно разработать шкалы с другим числом градаций. Использованная модель наклонной поверхности (рис.) может служить основанием и для других подходов к разработке шкал уклонов.

Вполне очевидно, что шкалы уклонов весьма различны, и можно использовать разные шкалы уклонов. Как же выбрать шкалу, чем определяется ее выбор? Учитывая важность сравнительного метода в географии, следует признать, что разные шкалы уклонов нецелесообразно жестко связывать с разными типами ландшафтов, так как различия шкал затрудняют сравнительный ландшафтный анализ. Судя по всему, выбор шкалы во многом

определяется детальностью анализа в разных диапазонах уклонов (т.е. тем, надо ли одинаково детально подразделить малые, средние и большие уклоны и насколько детально их надо подразделить, будут ли рассматриваться отрицательные уклоны), а также немногими другими особенностями исследования.

Анализ существующих и разработка новых шкал уклонов потребовались автору в процессе классификации географических фаций и крупномасштабного ландшафтного картографирования природных и техногенных территорий [5].

Таким образом, существующие шкалы уклонов – это, как правило, неравномерные шкалы, в которых малые уклоны подразделяются более детально, а большие уклоны – менее детально. Разные шкалы уклонов нецелесообразно жестко связывать

с ландшафтными различиями территорий, так как это затрудняет сравнительный анализ ландшафтов. В то же время, при решении разных задач вполне обоснованно могут быть использованы разные шкалы.

При подборе или разработке шкалы уклонов важнейшие составляющие – выбор функции и задание числа градаций. Эти составляющие во многом определяются детальностью анализа в разных диапазонах уклонов (т.е. тем, надо ли одинаково детально подразделить малые, средние и большие уклоны и насколько детально их надо подразделить, будут ли рассматриваться отрицательные уклоны), а также немногими другими особенностями исследования.

В предлагаемых шкалах использованы геометрические и арифметические прогрессии и тригонометрические функции. Как формальное основание они хорошо соответствуют содержательной основе шкал уклонов земной поверхности.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 13-05-00677) и Президиума Дальневосточного отделения РАН (проект 12-III-A-09-207).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров П.С. Энциклопедия элементарной математики : в 5 кн. / П. С. Александров, А. И. Маркушевич, А. Я. Хинчин. – Москва; Ленинград : Физматгиз, 1951-1966.
2. Гармиз И. В. Теория шкал и картография / И. В. Гармиз // Вестник Ленинградского университета. Сер. 7, Геология, география. – 1986. – Вып. 3. – С. 57-62.
3. Жучкова В. К. Методы комплексных физико-географических исследований / В. К. Жучкова, Э. М. Раковская. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.
4. Леонтьев О. К. Общая геоморфология / О. К. Леонтьев, Г. И. Рычагов. – Москва : Высшая школа, 1988. – 319 с.

Осипов Сергей Владимирович
доктор биологических наук, доцент, зав. лабораторией биогеографии и экологии Тихоокеанского института географии Дальневосточного отделения РАН, профессор кафедры экологии Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, т. +7-914-6974018, факс. (423) 2312159, E-mail: sv-osipov@yandex.ru

5. Осипов С. В. Детальное картографирование техногенных ландшафтов / С. В. Осипов, А. А. Гуров // География и природные ресурсы. – 2016. – № 1. – С. 156-163.

6. Прокаев В. И. Основы ландшафтоведения и физико-географическое районирование / В. И. Прокаев. – Свердловск : Издательство Свердловского государственного педагогического института, 1975. – Ч. II. – 111 с.

7. Пфанцагль И. Теория измерений / И. Пфанцагль. – Москва : Мир, 1976. – 248 с.

8. Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель / Л. Г. Раменский. – Москва : Сельхозгиз, 1938. – 620 с.

REFERENCES

1. Aleksandrov P.S. Entsiklopediya elementarnoy matematiki : v 5 kn. / P. S. Aleksandrov, A. I. Markushevich, A. Ya. Khinchin. – Moskva; Leningrad : Fizmatgiz, 1951-1966.
2. Garmiz I. V. Teoriya shkal i kartografiya / I. V. Garmiz // Vestnik Leningradskogo universiteta. Ser. 7, Geologiya, geografiya. – 1986. – Vyp. 3. – S. 57-62.
3. Zhuchkova V. K. Metody kompleksnykh fiziko-geograficheskikh issledovaniy / V. K. Zhuchkova, E. M. Rakovskaya. – Moskva : Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2004. – 368 s.
4. Leont'ev O. K. Obshchaya geomorfologiya / O. K. Leont'ev, G. I. Rychagov. – Moskva : Vysshaya shkola, 1988. – 319 s.
5. Osipov S. V. Detal'noe kartografirovaniye tekhnogennykh landshaftov / S. V. Osipov, A. A. Gurov // Geografiya i prirodnye resursy. – 2016. – № 1. – S. 156-163.
6. Prokaev V. I. Osnovy landshaftovedeniya i fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye / V. I. Prokaev. – Sverdlovsk : Izdatel'stvo Sverdlovskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo instituta, 1975. – Ch. II. – 111 s.
7. Pfantsagl' I. Teoriya izmereniy / I. Pfantsagl'. – Moskva : Mir, 1976. – 248 s.
8. Ramenskiy L. G. Vvedeniye v kompleksnoye pochvenno-geobotanicheskoye issledovaniye zemel' / L. G. Ramenskiy. – Moskva : Sel'khozgiz, 1938. – 620 s.

Osipov Sergei Vladimirovich
Doctor of Sciences (Biology), Head of Laboratory of Biogeography and Ecology, Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Professor of Department of Ecology, Far Eastern Federal University, tel. +7-914-6974018, E-mail: sv-osipov@yandex.ru