

МЕТОДИКА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.435.17

© 1996 г. В.П. БОНДАРЕВ

**МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОВРАЖНО-БАЛОЧНЫХ СИСТЕМ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ЧЕРНОЗЕМЬЯ ДЛЯ ИХ КЛАССИФИКАЦИИ**

В пределах Центрального Черноземья широко распространены овражные, балочные и лощинные флювиальные системы. Их можно выделить по чисто визуальным признакам: овраги имеют крутые обрывистые склоны и нестабильный продольный профиль врезанного тальвега, в то время как балки и лощины характеризуются задернованными, достаточно пологими склонами и плоским задернованным днищем. В свою очередь, балки отличаются от лощин более крутыми склонами.

Если рассматривать каждую из приведенных эрозионных форм как сложную систему, то важно выделить общие характеристики, которые дают возможность сравнивать чисто внешние параметры, а также те свойства системы, которые позволяют оценивать ее структуру. Все это вместе может быть положено в качестве основания для разделения систем. Балочные лощинные и овражные системы отличаются друг от друга многими свойствами, часть из которых легко удастся установить способами морфометрического анализа. Подобный анализ позволяет провести классификацию выделенных систем. Морфометрические закономерности могут позволить также более точно определить расчетными методами среднее количество водосборов, на что указывал еще Н.И. Маккавеев [1].

Для морфометрического анализа овражно-балочных систем были сделаны случайные выборки по топографическим картам м-ба 1:25000 с дальнейшим уточнением результатов по более крупномасштабным материалам и проверкой на местности. На 137 овражных, 59 балочных и 41 лощинных системах были сделаны замеры ширины водосбора по его длине. Для балок и лощин дополнительно исследовались уклоны продольного профиля по тальвегу. Все графики строились в безразмерных координатах. В зависимости от текущей ширины водосбора (B_i) и его текущей длины (L_i) все величины соотносились с максимальной длиной водосбора (L). В зависимости от изменения уклонов продольного профиля по тальвегу текущий базис эрозии (H_i) нормировался по максимальному базису эрозии (H), текущая длина (L_i) – по максимальной длине (L). Репрезентативность выборки оценивалась по методике А.К. Митропольского [2]. Задавшись точностью измерения в 10% и предположив, что выборки являются достаточно большими, рассчитывались вероятности попадания в доверительный интервал. Для оврагов она составила более 95%, для балок – более 85%, а для лощин – 80%. В случае когда разделение балочных и лощинных характеристик было нецелесообразно, их общая выборка составляла 100 штук: это соответствовало вероятности попадания в доверительный интервал 95%.

Результаты анализа зависимостей изменения ширины водосборов по их длине

показали, что они для балочных и лощинных водосборов Центрального Черноземья практически полностью совпадают. Поэтому они были сведены в одну кривую (рис. 1, а). На этом же рисунке приводится аналогичная зависимость для балочных водосборов юга Нечерноземья, полученная в Проблемной лаборатории эрозии почв и русловых процессов МГУ [3]. Как видно из рисунка, балочные и лощинные водосборы Центрального Черноземья имеют тенденцию к сужению в привершинной части водосбора. Сопоставление конфигурации овражных водосборов, полученных нами для Центрального Черноземья, с результатами, приводимыми в статье [3] для оврагов юга Нечерноземья, показывает, что овражные водосборы Центрального Черноземья шире в приустьевой и средней частях водосбора. Однако максимальная ширина овражных водосборов Центрального Черноземья и юге Нечерноземья примерно одинакова.

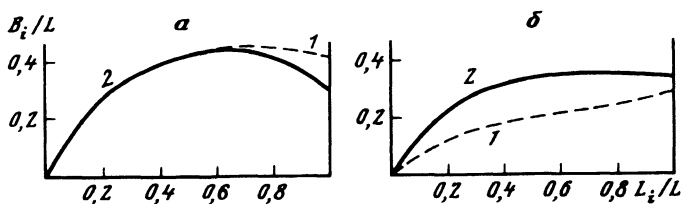


Рис. 1. Изменение ширины водосбора по его длине для балок и лощин (а), оврагов (б) 1 – для юга Нечерноземья (по Е.Ф. Зориной и др. [3]); 2 – для Центрального Черноземья

К настоящему времени предложен большой ряд формул, связывающих между собой длину линейной формы или длину всего водосбора с его площадью [4]. Большая часть данных зависимостей имеет вид

$$F = kL^n, \quad (1)$$

где F – площадь водосбора; k, n – эмпирические коэффициенты; L – длина всего водосбора. Нами были получены следующие зависимости связи длины водосбора с его площадью для оврагов, балок и лощин Центрального Черноземья соответственно:

$$F_{\text{ов}} = (0,29 \pm 0,08)L^2 \quad (2)$$

$$F_{\text{б}} = (0,35 \pm 0,11)L^2 \quad (3)$$

$$F_{\text{л}} = (0,34 \pm 0,11)L^2 \quad (4)$$

Морфометрические характеристики лощинных и балочных водосборов имеют практически одинаковые зависимости. Овражные водосборы имеют более вытянутую и узкую форму по сравнению с балочными и лощинными. Вместе с тем овражные водосборы Центрального Черноземья шире южнечерноземных и гораздо ближе к балочным и лощинным (рис. 1). Если коэффициент k в формуле для юга Нечерноземья, по данным [3], составляет для оврагов 0,2, а для балок 0,4, то для Центрального Черноземья, по нашим данным, он имеет значение 0,29 и 0,35 соответственно.

Приведенные выше цифры плановых характеристик эрозионных форм касались в основном усредненных значений. Однако интерес представляют не только средние, но и отклонения от них. Исследования на распределение наших данных, полученных по водосборам Центрального Черноземья, показали, что оно близко к нормальному. Для целей классификации можно отложить в обе стороны от средних значений одно стандартное отклонение (σ) и рассматривать три класса форм: нормальные, аномально узкие и аномально широкие водосборы (рис. 2).

Интервал значений в одно стандартное отклонение был выбран для того, чтобы сделать разделение более или менее равномерным по числу классов, так как тогда

число наиболее часто встречающихся (нормальных) бассейнов будет не намного больше, чем сумма остальных.

Для более подробной классификации можно разделить водосбор на две равные части по длине (приводораздельную и приустьевую). Тогда классификацию можно представить в виде двумерной матрицы, в которой, с одной стороны, даются признаки аномальности приустьевой части водосбора, а с другой – привершинной. В этом случае получается девять классов. Как выяснил анализ, на территории Центрального Черноземья помимо нормальных встречаются ложинно-балочные водосборы, имеющие аномально широкую приустьевую и аномально узкую привершинную части, а также водосборы грушевидной формы, типичной для водосборов рек.

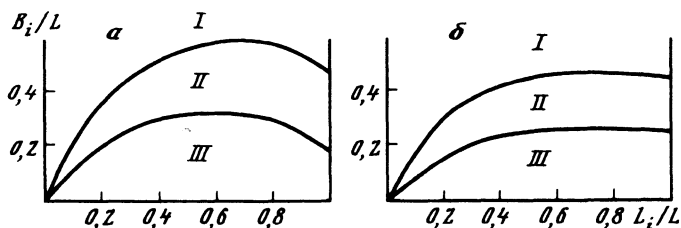


Рис. 2. Интервалы нормального изменения водосбора по его длине у балок и ложин (а), у оврагов (б)

Водосборы: I – аномально широкие; II – нормальные; III – аномально узкие

Полученные плановые характеристики ложинно-балочных и овражных водосборов целесообразно сопоставить с результатами анализа изменения уклонов тальвегов этих эрозионных форм, что позволит уточнить признаки разделения на группы в принятой нами классификации. Продольный профиль эрозионных форм как индикатор состояния геоморфологической системы изучается достаточно давно. Особое внимание привлекает так называемый выработанный профиль (по Н.И. Маккавееву [1]). Имеется достаточно большое число работ по этой проблеме. Для оврагов и балок существует ряд зависимостей, описывающих форму продольного профиля [5–9].

В.И. Филин [6], анализируя овраги в бассейне среднего течения р. Десны, наряду с аппроксимационной кривой отnivelированных продольных профилей, приводит профиль равновесия, общий для рек и оврагов, независимо от грунтов. Переведенная в обычные безразмерные координаты зависимость записывается в виде

$$H_i = 1 - 0,111(3 + \lg L_i)^2, \quad (5)$$

где H_i – отношение текущей высоты к максимальной; L_i – отношение текущей длины формы к максимальной.

Указывая на эмпирический характер данной зависимости, а также опираясь на положение Н.И. Маккавеева [1] о невозможности найти общие закономерности формирования продольного профиля без учета условий формирования стока и наносов, И.В. Боголюбова и А.В. Караушев предложили свою зависимость [7]:

$$H = 1 - kx^{0,6}, \quad (6)$$

где H , x – те же характеристики, что и в (5), k – коэффициент, вычисляемый по данным натурных измерений.

В работе Е.Ф. Зориной [5] предлагается методика расчета выработанного профиля оврагов и балок, исходя из зависимости, предложенной Н.И. Маккавеевым:

$$I_i = E/L_i^m, \quad (7)$$

где I_i – уклон на участке; L_i – расстояние по длине русла; E – постоянная для определенных природных условий; m – показатель степени, для оврагов и балок близкий к 1. (Зависимости (5–7) показаны на рис. 3.)

Анализ результатов натуральных наблюдений по Центральному Черноземью показывает, что средние показатели уклона продольного профиля балок и лощин резко отличаются друг от друга (рис. 4,а). Если в первом случае профиль достаточно вогнутый, то во втором он практически прямой. Причем кривая балочного профиля почти совпадает с той, которую дают в качестве расчетной И.В. Боголюбова и А.В. Караушев [7].

Для дальнейшего анализа отложим от средних значений изменения уклонов продольного профиля тальвегов по одному стандартному отклонению (σ) в каждую сторону, руководствуясь теми же соображениями, что и в случае с конфигурацией водосборов. Анализ стандартного отклонения от средних значений показывает, что

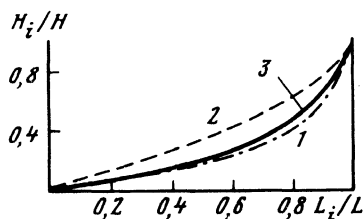


Рис. 3. Расчетные профили равновесия оврагов и балок
1 – по В.И. Филину [6]; 2 – по И.В. Боголюбовой и
А.В. Караушеву [7]; 3 – по Е.Ф. Зориной [5]

линия максимальной стрелы прогиба для балок практически совпадает с линией максимальной стрелы прогиба для расчетного выработанного профиля, предлагаемого Е.Ф. Зориной [5]. Линия же минимального прогиба балок почти соответствует максимальному для лощин. Результаты анализа натуральных продольных профилей по Центральному Черноземью сведены в один график (рис. 4,б).

Сделаем попытку проанализировать генезис выявленных различий в морфометрических характеристиках овражно-балочных систем. Балочные и лощинные профили формируются в результате достаточно длительного времени. По мнению ряда авторов [10, 11], многие современные крупные балки на территории центральночерноземных и смежных областей существовали уже в доледниковое время, на что указывает плащеобразное залегание на их склонах ледниковых суглинков и других четвертичных отложений. Если допустить, что балки и лощины образовались в результате развития древних оврагов, то уместно заметить, что, по мнению А.П. Дедкова и др. [12], благоприятные условия для возникновения таких оврагов были в заключительные периоды перигляциалов с весьма засушливым летним сезоном, когда редко выпадающие интенсивные осадки оказывали воздействие на поверхность с разреженным растительным покровом. Следовательно, можно предположить, что выработанный продольный профиль коренного ложа хотя бы у части современных балок и лощин мог сформироваться именно в те времена.

В работах В.В. Докучаева, С.С. Соболева, И.П. Герасимова, А.С. Козменко, Д.А. Арманда, Н.И. Маккавеева и др. были предложены различные генетические ряды развития эрозионных форм. Для Центрального Черноземья доказана возможность многовариантности развития форм линейной эрозии [13]. Все эти пути развития эрозионного рельефа подразумевают на днищах балок и лощин наличие достаточно мощного слоя (до 6–10 м и более) четвертичных отложений [10–14]. А.С. Козменко полагает, что современная балочная сеть еще не "откопала" рельеф предыдущего этапа развития [14]. Можно предположить, что часть лощинно-балочных систем в своем развитии достигала выработанного профиля. Однако можно допустить и то, что ряд древних эрозионных форм никогда не достигал максимального прогиба. Достоверные сведения об этом могут дать лишь исследования с привлечением результатов специальных буровых работ.

Что касается продольного профиля оврагов, то существующие полевые и экспериментальные данные [16–17] свидетельствуют, что он изменяется по мере формирования эрозионной формы. С приближением к конечному этапу размер стрелы проги-

ба увеличивается, а ее максимум приближается к привершинной части линейной формы и практически совпадает с размером стрелы прогиба расчетного выработанного профиля.

Сопоставление плановых характеристик и продольных профилей лощин, балок и оврагов на территории Центрального Черноземья, сравнение их с данными других авторов по другим районам, а также с экспериментальными данными позволяет сделать следующие выводы.

Балки и лощины по линейным размерам являются формами одного порядка, а конфигурация их водосборов и отношение площади водосборов к их длине практически одинаковы.

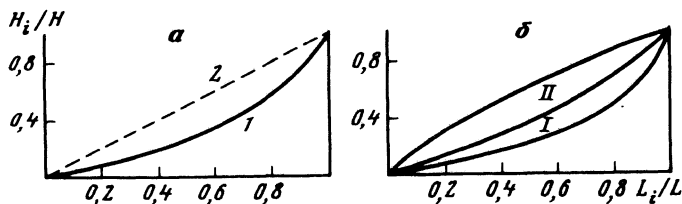


Рис. 4. Изменение уклонов продольного профиля по его длине

a – средние значения; *б* – отклонения на $\pm\sigma$

1 – для балок Центрального Черноземья; *2* – для лощин Центрального Черноземья

Интервал нормальных значений для балок (I) и лощин (II) Центрального Черноземья

Основное отличие лощин от балок, принятое в настоящее время, – это более пологий склон у лощин. Полученные нами результаты показывают, что не менее типично для этих форм различие продольных профилей, о чем свидетельствуют данные, представленные на рис. 4.

Анализируемые различия в морфометрических характеристиках оврагов, балок и лощин во многом определяют место развития овражной эрозии. В пределах балочных водосборов овражная эрозия развивается как в днищах балок (донные овраги), так и по их бортам (склоновые овраги). Лощинные водосборы, как правило, являются местом развития крупных овражных врезов, которые обычно определяются как склоновые.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Изд-во физ.-мат. лит-ры, 1971. 480 с.
3. Зорина Е.Ф., Никольская И.И., Веретенникова М.В., Каташ И.Г. Плановые характеристики водосборов овражно-балочной сети юга Нечерноземья // Геоморфология. 1988. № 3. С. 50–55.
4. Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 476 с.
5. Зорина Е.Ф. Прогноз количества и длины оврагов в пределах балочного водосбора // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1981. Вып. 8. С. 80–91.
6. Филин В.И. Некоторые закономерности в строении русла оврага и их использование // Тр. Брянского лесохозяйственного ин-та, 1957. Т. 8. С. 141–153.
7. Боголюбова И.В., Караушев А.В. Вопросы формирования и развития оврагов // Режим, теория, методы расчета и измерения наносов: Тр. Государственного Гидрологического ин-та. Вып. 267. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 5–25.
8. Трофимов А.М., Московкин В.М. Математическое моделирование в геоморфологии склонов. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 1983. 216 с.
9. Самоорганизация в развитии форм рельефа / Под ред. А.В. Позднякова, И.Г. Черванева, М.: Наука, 1990. 204 с.
10. Спиридонов А.И. Геоморфология Европейской части СССР. М.: Высш. шк., 1978. 331 с.
11. Хруцкий С.В. Проблемы формирования балок в связи с изменениями климата плейстоцена // Геоморфология, 1985. № 1. С. 17–21.

12. Дедков А.П., Мозжерин В.И., Ступишин А.В., Трофимов А.М. Климатическая геоморфология денудационных равнин. Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 1977. 244 с.
13. Гайворон Т.Д. Стадии развития овражно-балочных форм Среднерусской возвышенности (на примере бассейна р. Сейм): Автор. дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1983. 24 с.
14. Козменко А.С. Основы противоэрозионной мелиорации. М.: Сельхозгиз, 1954. 421 с.
15. Овражная эрозия / Под ред. Чалова Р.С. М.: Изд-во МГУ, 1989. 168 с.
16. Косов Б.Ф., Никольская И.И., Зорина Е.Ф. Экспериментальное исследование оврагообразования // Экспериментальная геоморфология. Вып. 3. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 113–140.
17. Бондарев В.П. Экспериментальные исследования условий активизации форм линейной эрозии // Геоэкологические аспекты хозяйствования, здоровья и отдыха (Тез. докл. межгосуд. науч. конф.) Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 1993, Ч. 1. С. 103–106.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
22.02.94

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF GULLY SYSTEMS IN THE CENTRAL BLACK-EARTH REGION WITH A VIEW TO THEIR CLASSIFICATION

V.P. BONDAREV

S u m m a r y

A number of problems related to the morphometric analysis of gully and balka systems as a basis of their classification are considered taking the Central Black-Earth (Chernozemic) region as a case study. Areal characteristics of watersheds measured in the regions are compared with results previously obtained for other regions. Equations approximating the so-called graded profile of gullies and balkas are correlated with measurements from large-scale maps.