

УДК 551.435.1:556.51(470.325)

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ АСИММЕТРИЯ РАЗНОПОРЯДКОВЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ (на примере Белгородской области)

Ф.Н. Лисецкий¹, Ж.А. Буряк¹, О.А. Маринина^{2,1}

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
г. Белгород, 308015, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия

Аннотация

В результате геоморфологического анализа эрозионного потенциала 52 речных бассейнов субширотной и 39 бассейнов субмеридиональной ориентации в границах Белгородской области определена мера асимметрии каждого из них. С использованием цифровой модели рельефа, по объективно выявленным различиям экспозиции, вертикального расчленения и совместного влияния длины и крутизны склонов (рельефной функции) проведена типология парадинамических районов, которые объединяют геоморфологические ярусы на макросклоне речного бассейна. Показано, что наиболее существенными факторами интеграции парадинамических районов в геоморфологически однородные выделы выступают рельефная функция и глубина вертикального расчленения, а влияние экспозиционных различий проявляется на более низком уровне интеграции. Пространственная ориентация и порядок бассейна определяют особенности асимметрии его макросклонов. Асимметрия бассейнов субмеридиональной ориентации проявляется лишь для водотоков V–VII порядков, что показывает масштабные ограничения этой закономерности.

Ключевые слова: речной бассейн, эрозионный потенциал рельефа, асимметрия, морфометрический анализ, ГИС-технологии

Введение

По современным представлениям геоморфологов [1], речной бассейн рассматривается как сложная форма рельефа, которая образуется в результате взаимодействия эндогенных и экзогенных сил и относится к денудационным формам флювиального происхождения. В бассейне как парадинамической системе формируется особое сочетание морфологических, гидрологических, климатических, почвенных условий и осуществляется активный обмен вещества и энергии [2]. Упорядоченность такой системы выражается в преобладающей направленности стока воды и наносов вниз по течению реки.

Бассейновая динамико-генетическая система склоновых ландшафтов рассматривается через совокупность причинно-следственных связей, сложившихся в бассейне и обусловившую посредством стока динамико-генетическое единство, структурно-функциональную целостность и векторную латеральную упорядоченность склоновых ландшафтов [3]. Структурные части бассейновой системы

(уровневая, склоновая, пойменно-русовая) характеризуются пространственной смежностью и генетической сопряженностью.

В модели эволюции ландшафта водосбор выступает ключевым структурным элементом, поскольку особенности его рельефа и гидрофункционирования являются результатом денудационных процессов [4]. Создание флювиальных форм рельефа (долины, русла, пойм, террас), как и водосборного бассейна, невозможно без участия водных масс [5]. Согласно концепции Н.И. Маккавеева [6], именно водно-эрозионные процессы являются агентом воздействия почвенного покрова водосбора на его речную сеть.

Если в морфологической структуре ландшафтов будут определены степень расчленения и порядки эрозионных форм, то могут быть выделены разновозрастные образования, поскольку суждения об их происхождении обоснованы тем положением, что «однопорядковые долины примерно разновозрастны» и что порядок долин связан с их геологическим возрастом: чем выше порядок, тем старше долина и наоборот [7]. Понятие водосбора можно интерпретировать через представление о каскаде элементов «памяти» [8], геометрические свойства которых являются производными от порядка водотока. Каждый элемент «памяти» представляет собой результат протекания поверхностного стока, и в нем находит отражение история переотложения осадочного материала. Таким образом, речная сеть водосбора является дистрибутивной системой [9], которая перераспределяет осадочный материал и формирует геоморфологические элементы современных бассейнов.

Геоморфологические исследования речных бассейнов в России в последние годы вышли на новый технологический уровень благодаря применению ГИС-технологий и СУБД. К настоящему времени создана открытая геоинформационная система речных бассейнов для Европейской территории России (<http://bassepr.kpfu.ru>), которая интегрирует в геопространственной базе данных комплексную характеристику природно-ресурсного потенциала речных бассейнов, в том числе их геоморфологические параметры [10].

В бассейновых ландшафтных структурах (БЛС) под влиянием исторически сложившихся геологических, топографических и климатических условий может проявиться неоднородность, выраженная в асимметрии склонов речных долин. Чем древнее речная сеть, тем сильнее выражена асимметрия долин. Ф.Н. Мильков [2] выделял 10 генетических типов ландшафтной асимметрии (геострофическую, тектогенную, топогенную, инсоляционную и др.), к которым предложено добавить антропогенную [11]. Различают неполную и полную асимметрию рельефа [7], то есть асимметрию бассейнов в целом, а также речных систем, междуречий, долин. Если у бассейнов, близких по ориентации, отчетливо выражена асимметрия речных долин, то геоморфологическое сходство может обнаруживаться в особенностях одноэкспозиционных макросклонов смежных бассейнов.

При исследовании асимметрии водосборов используют различные подходы к ее оценке. Она может быть выражена через гидрографические и гидрологические характеристики противоположных склонов: по количеству притоков, их длине, внутригодовому распределению их поверхностного и подземного стока [12]. Установлено [13], что асимметрия дренажной сети водосбора в значительной

степени определяет асимметрию речной долины, поскольку вызывает различия в стоке воды и дисбалансе поступающих наносов.

Если рассматривать бассейн как геоморфологическую систему, то для понимания причин происхождения ее асимметрии необходимы морфометрический анализ и изучение геологического строения. Наиболее простым в использовании способом оценки является расчет коэффициента асимметрии [14, 15], выраженного через отношение водосборных площадей правых и левых притоков. Морфологическая асимметрия – существенный фактор эволюции формирования ландшафтов. Особенно это касается бассейнов субширотной ориентации: из-за контрастной теплообеспеченности в таких бассейнах ярко выражены различия структуры почвенного покрова [16]. В случае, когда асимметрия выражается через высотный градиент, перепад высот противоположных макросклонов влияет на их климатические условия. Перераспределение восходящими потоками воздуха полей жидких осадков между возвышенными водоразделами и долинами может отклонить развитие ландшафтов от зональной нормы [17], что приводит к фациальной [18] и биогеоценотической [19] изменчивости геосистем.

Неоднородность рельефа речных бассейнов, вызванная асимметрией речных долин и склонов, определяет необходимость более дифференцированного подхода для геоморфологических интерпретаций. Предложено наряду с рассмотрением бассейна как гидрологически целостного объекта перейти к блоковому анализу внутрибассейнового пространства [20], при котором территория бассейна разделяется с помощью притоков соответствующего порядка.

1. Объекты и методы исследования

Исследования асимметрии склонов речных долин проводили в границах территории Белгородской области, расположенной преимущественно в лесостепной зоне и частично (7% площади на юго-востоке) в степной зоне. Речная система Белгородской области принадлежит к бассейнам Днепра и Дона. В основных бассейнах (кроме водосбора р. Оскол) представлены истоки рек, протяженность которых существенно увеличивается за пределами области. На территории области берут начало более 50 малых рек, которые составляют 80% общей протяженности речной сети региона [21]. С использованием методов пространственного анализа цифровой модели рельефа (ЦМР), полученной по данным радарного сканирования (SRTM с разрешением 3"), была воссоздана долинная и овражно-балочная сеть Белгородской области и построены границы бассейнов с последующим их уточнением по картам масштаба 1:50 000, а также исследована порядковая структура долинной и овражно-балочной сети [22]. Наивысший порядок организации эрозионной сети представлен бассейнами VII порядка (по системе Стралера – Философова, где элементарным водотокам (в настоящем исследовании – эрозионным формам, выделенным по ЦМР) без притоков присваивается первый порядок, а при слиянии однопорядковых водотоков порядок увеличивается на единицу).

В региональных геоморфологических и экологических исследованиях на бассейновых принципах [23–25] в качестве оптимальной операционно-территориальной единицы анализа признаны бассейны IV порядка (они занимают 65% территории области), так как с этого иерархического уровня в бассейнах с одной

морфоструктурой начинают проявляться существенные геоморфологические различия по типу рельефа [26]. Поэтому объекты исследования представлены речными бассейнами IV–VII порядков.

Поскольку территория исследования ограничена административными границами Белгородской области, то периферийные БЛС фрагментированы. Ранее с использованием бассейново-административного подхода [27] обоснованы границы Белгородского эколого-гидрологического региона – относительно обособленного в гидрографическом и гидрологическом отношении целостного природно-хозяйственного образования внутри границ Белгородской области, который является оптимальным объектом геопланирования природопользования на бассейновых принципах и организации многоуровневой системы мониторинга земельных и водных ресурсов. Из анализа были исключены периферийные бассейны, которые не обладают гидрологической целостностью (2% от площади области) и бассейны с техногенно преобразованным рельефом. Кроме того, проведено объединение небольших по площади смежных бассейнов с однонаправленными водотоками.

В результате в исследовательскую выборку вошел 91 речной бассейн, после чего она была разделена на две группы: 69 бассейнов IV порядка и 22 бассейна (или прирусловых территорий) V–VII порядков.

При выделении субмеридиональных и субширотных видов бассейнов для русла главного водотока был вычислен азимут, а затем угол отклонения от оси меридиана (r). В случаях, когда у рек отмечено резкое изменение направления течения, азимут русла рассчитывали по средневзвешенному значению для прямых отрезков. В результате выделено 52 бассейна преимущественно субширотного ($r > 45^\circ$) и 39 субмеридионального ($r < 45^\circ$) направлений.

В речных бассейнах Белгородской области преобладающими флювиальными процессами рельефообразования выступают поверхностный смыл почвогрунтов и линейная эрозия. Поэтому для оценки геоморфологической составляющей симметрии и асимметрии БЛС были выбраны четыре показателя, наиболее полно отражающие эрозионный потенциал рельефа: рельефная функция (LS), коэффициент экспозиции (\mathcal{E}), вертикальное расчленение (ΔH , м) и горизонтальное расчленение (K , км/км²). Расчет показателей производили в ГИС-приложении ArcGIS 10.2 путем автоматизированного пространственного анализа гидрологически корректной цифровой модели рельефа ЦМР Белгородской области, построенной по векторной высотной основе топографических карт масштаба 1:25 000 методом плоского сплайна, учитывающим дренажную структуру территории (инструмент *ToroToRaster*). Для региональных условий рельефа установлено [28], что оптимальный размер ячейки при данном масштабе, обеспечивающий требуемую точность без избыточности данных, равен 30 м.

Каждый бассейн по линии русла основной реки был разделен на два противоположных макросклона (суббассейна), в границах которых методом пространственной статистики в ArcGIS рассчитаны средние значения показателей LS , K , \mathcal{E} и ΔH .

Для расчета рельефной функции LS , отражающей совокупное влияние уклона и длины склона, использовали уравнение [29], которое среди других

показало свою адекватность при его верификации для региональных условий в отношении проявления процессов эрозии и почвообразования [30]:

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1.38 + 0.965 \cdot S + 0.138 \cdot S^2), \quad (1)$$

где L – длина склона, м; S – уклон, %.

Коэффициент экспозиции (\mathcal{E}) отражает эрозионный потенциал рельефа при эрозии талого стока, которая зависит от интенсивности снеготаяния. Склоны южной экспозиции считаются более эрозионно опасными, поскольку на них приходится больше поступающего тепла (солнечной радиации). Количественное выражение коэффициента \mathcal{E} в зависимости от геоморфологических условий можно представить формулой из эрозионной модели Г.И. Швебса [31]:

$$\mathcal{E} = 1 + 1.75 \cdot \left(\frac{\sin h}{\cos S \cdot \sin h + \sin S \cdot \cos h \cdot \cos \psi} - 1 \right), \quad (2)$$

где S – крутизна склона, град.; h – высота солнца над горизонтом, град., ψ – экспозиция склона, град.

Результирующий коэффициент экспозиции рассчитан по ЦМР как средневзвешенное для территории бассейна; его величиной определяется доминирующий тип склонов, характеризуемый определенной теплообеспеченностью, а следовательно, и эрозионным потенциалом.

Вертикальное расчленение рассчитывали по средневзвешенному значению разности высот ЦМР в ячейках сетки 2×2 км. Оценку горизонтального расчленения получили путем автоматизированного построения по ЦМР долинной и овражно-балочной сети и оценки ее суммарной длины на площади 26.6 тыс. км².

В качестве меры асимметрии использовали коэффициент C , рассчитанный как

$$C = \frac{|P_{\text{пр}} - P_{\text{лв}}|}{\bar{X}_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где C – коэффициент асимметрии бассейна по показателям P : рельефной функции (C_{LS}), горизонтальному расчленению (C_K), вертикальному расчленению ($C_{\Delta H}$) и коэффициенту экспозиции ($C_{\mathcal{E}}$); $P_{\text{пр}}$, $P_{\text{лв}}$ – значения показателя для правого и левого суббассейнов; $\bar{X}_{\text{п}}$ – среднее значение параметров суббассейнов.

Для объективного выделения в пределах БЛС геоморфологически однородных районов в программном продукте STATISTICA 10.0 использовали метод многомерного кластерного анализа (алгоритм древовидной кластеризации методом Уорда в квадрате Евклидова расстояния).

2. Результаты и их обсуждение

Днепровско-Донской водораздел на территории Белгородской области имеет длину 199 км и ориентирован с северо-востока на юго-запад [21]. Анализ гидрографической сети позволяет выделить в северо-западной части области другой водораздел широтного направления, от которого на север и юг расходятся реки меридионального и субмеридионального направлений: Северский Донец с притоками, притоки Сейма и Псёла, а также реки восточнее водораздела –

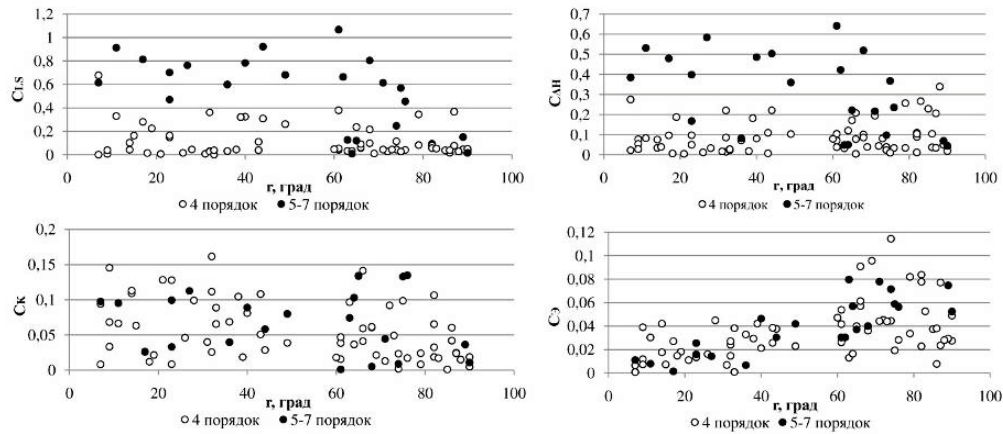


Рис. 1. Изменение коэффициента асимметрии (C) по рельефной функции (LS), горизонтальному расчленению (K), коэффициенту экспозиции (Э) и вертикальному расчленению (ΔH) в зависимости от ориентации бассейнов – румба (r)

Оскол и Айдар. Выполненный нами региональный анализ показал, что порядок бассейна и ориентация речной долины могут в значительной степени определять геоморфологическую контрастность ее макросклонов (рис. 1).

Для склонов долин субмеридиональных бассейнов ($r < 45^\circ$) зависимость между азимутом бассейна и степенью асимметрии его склонов по коэффициентам C_{LS} и $C_{\Delta H}$ наблюдается с увеличением порядка бассейна: она проявляется в бассейнах V–VII порядков и не выявлена для более низкого IV порядка. Для бассейнов рек V–VII порядков асимметрия макросклонов по интегральной рельефной функции и перепаду высот увеличивается с приближением оси бассейна к меридиональному направлению. Суббассейны восточной экспозиции характеризуются сложными геоморфологическими условиями: более глубоким базисом эрозии и высоким показателем рельефной функции, которая указывает на повышенный эрозионный потенциал рельефа. Для суббассейнов, обращенных на запад, характерен более спокойный рельеф с менее крутыми склонами и меньшей глубиной овражно-балочной сети. Следует отметить, что данной закономерности подчиняются и два бассейна VI порядка субширотной ориентации – рек Ворсклы и Нежеголи ($r = 61^\circ$ и 68° соответственно). Для них также наблюдаются высокие значения C_{LS} и $C_{\Delta H}$, что может быть объяснено не только воздействием силы Кориолиса, но и тектоническими особенностями территории.

Коэффициент асимметрии C_K для всех бассейнов характеризуется в среднем минимальными значениями по сравнению с другими показателями асимметрии. Связь данного коэффициента с ориентацией бассейнов не установлена как для IV, так и для V–VII порядков. Это свидетельствует о том, что густота эрозионной сети (K) относительно равномерно распределена по макросклонам для бассейнов любого порядка и ориентации. Поэтому параметр K при последующей типизации бассейнов был исключен.

Изменение коэффициента асимметрии склонов $C_{\text{Э}}$ в зависимости от ориентации для бассейнов V–VII порядков показало более достоверную зависимость, чем для бассейнов IV порядка (коэффициенты корреляции равны 0.83 и 0.50 соответственно). Чем ближе бассейн к широтной ориентации, тем ярче проявляется

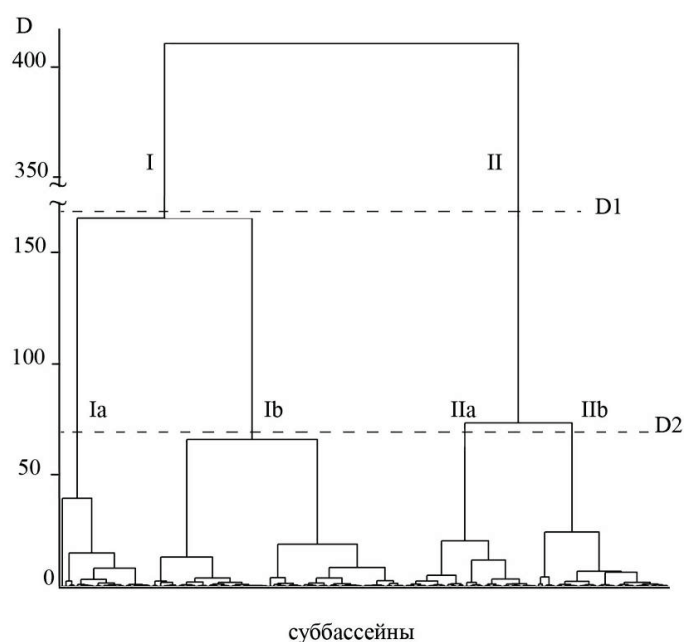


Рис. 2. Дендрограмма геоморфологической типизации суббассейнов: D – расстояние объединения; $D1$, $D2$ – границы порога выделения типов и подтипов суббассейнов

экспозиционная контрастность его макросклонов. Для бассейнов любых порядков, ориентированных с востока на запад, наибольшие значения коэффициента экспозиции характерны для южных макросклонов. Это определяет повышенный эрозионный потенциал рельефа, который в условиях лесостепи и степи реализуется за период весеннего снеготаяния при условии образования слоя стока.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при геоморфологическом анализе БЛС в разрезе макросклонов проявляется неоднородность их рельефных характеристик. Поэтому для геоморфологических интерпретаций целесообразно перейти от бассейновой дифференциации ландшафта к парадинамическим районам – совокупности ландшафтных ярусов, имеющих одну макроэкспозицию и приуроченных к определенному макросклону бассейна малой реки [32].

Результат объективного выделения геоморфологически однородных парадинамических районов по статистически значимым показателям LS , \mathcal{E} и ΔH представлен в виде дендрограммы (рис. 2), на которой суббассейны, сгруппированные в однородные кластеры, могут быть интерпретированы с помощью их разделения на типы и подтипы.

Чем больше расстояние объединения (D), тем сильнее различаются группы объектов в соответствующих кластерах. Четко выявилось обособление суббассейнов в два крупных кластера – парадинамических района (при $D1 = 168$), которые существенно различаются по показателям LS и ΔH (табл. 1). Экспозиционные различия парадинамических районов проявляются на более низком уровне их объединения (при $D2 = 67$).

Табл. 1

Различия геоморфологических характеристик парадинамических районов в типологическом отношении

Тип и подтип	LS	ΔH , м	\mathcal{E}
$D = 168$			
I	1.4 ± 0.4	49 ± 9	1.00 ± 0.01
II	2.3 ± 0.3	71 ± 6	1.00 ± 0.02
$D = 67$			
Ia	0.9 ± 0.2	39 ± 6	0.99 ± 0.01
Ib	1.5 ± 0.3	53 ± 6	1.00 ± 0.01
IIa	2.2 ± 0.3	68 ± 7	0.97 ± 0.01
IIb	2.4 ± 0.4	73 ± 5	1.01 ± 0.01

Парадинамический район I типа занимает 13.7 тыс. км² (51% территории Белгородской области) и характеризуются относительно спокойными геоморфологическими условиями: низкие значения рельефной функции и глубины базиса эрозии в его суббассейнах определяют невысокий эрозионный потенциал рельефа. К данному типу относится практически вся территория Днепровского бассейна, а также часть бассейна Дона (западные макросклоны субмеридиональных бассейнов и группа суббассейнов на северо-востоке области). Рельеф последних сформировался под действием четвертичного оледенения: здесь образовалась зандровая равнина, сложенная флювиогляциальными песками.

Для парадинамического района II типа площадью 12.9 тыс. км² (47% территории области) характерны более сложные геоморфологические условия по сравнению с типом I: высокие значения вертикального расчленения и рельефной функции создают предпосылки для интенсивного протекания водно-эрозионных процессов. Данный тип формируют восточные макросклоны субмеридиональных бассейнов, а также суббассейны с ярко выраженной субширотной ориентацией. Повышенный эрозионный потенциал рельефа при стоке талых вод характерен для подтипа IIb, представленного преимущественно южными макросклонами бассейнов субширотной ориентации.

Парадинамические районы I типа локализованы в западной части области, II типа – на востоке области. С продвижением с запада на восток доля суббассейнов I типа на территории области уменьшается, а II типа – увеличивается, образуя в центральной части области (бассейн р. Северский Донец) переходную зону чередующихся «полос» субмеридионального простиранья (рис. 3).

Наибольшая геоморфологическая контрастность БЛС наблюдается в случаях, когда макросклоны одного бассейна принадлежат к разным парадинамическим районам. К контрастным относятся бассейны рек Ворскла, Северский Донец с притоками, Айдар, Оскол с притоками Ураева и Валуй. Такие бассейны по линии русла можно разделить на крутой правый и пологий левый макросклоны. Всего в области 18 примеров контрастных бассейнов, причем 12 из них имеют субмеридиональную ориентацию.

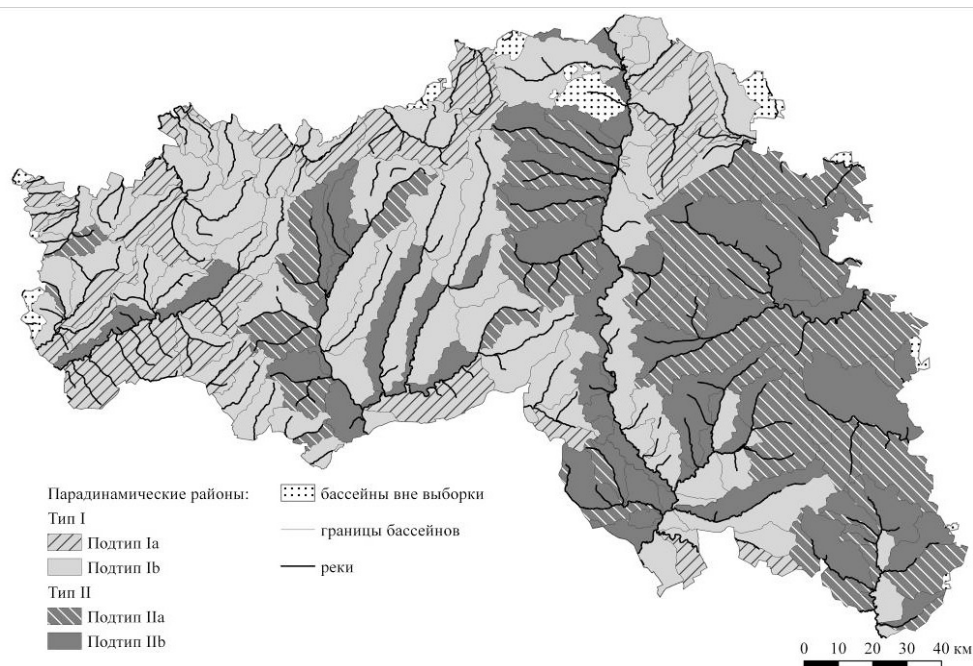


Рис. 3. Парадинамические районы Белгородской области

Заключение

При использовании бассейнового подхода к оценке геоморфологических условий в гидрологически целостной бассейново-ландшафтной системе целесообразно провести структурный анализ ее элементов – парадинамических районов, приуроченных к макросклонам бассейна. Это позволяет выделить геоморфологически однородные выделы не только в пределах конкретного бассейна, но и на смежных бассейнах и межбассейновых территориях.

Пространственная ориентация бассейна определяет особенности асимметрии его макросклонов. Для субмеридиональных бассейнов их геоморфологическая контрастность может быть выявлена по величинам рельефной функции и вертикального расчленения. Причем проявление асимметрии таких бассейнов связано с порядковой структурой их водотоков: наиболее выражена асимметрия для бассейнов рек V–VII порядков с характерными крутыми, более эрозионно опасными восточными и пологими западными макросклонами. Эффект асимметричности пропорционально зависит от массы движущейся воды (это коррелирует с порядком бассейна), но в то же время устанавливает масштабное ограничение для реализации этой закономерности. Для бассейнов субширотной ориентации ярче проявляется их асимметрия по экспозиционному фактору: южные макросклоны отличает более высокая теплообеспеченность, что создает предпосылки для активного проявления водно-эрозионного процесса при снеготаянии.

Применение современных технологий пространственного ГИС-анализа и статистического моделирования позволяет объективно выделить геоморфологически однородные парадинамические районы, границы которых совпадают с основными каркасными линиями морфоскульптуры рельефа – водоразделами и долинной сетью, как это показано на примере территории Белгородской области.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 15–17–10008) и внутривузовского гранта НИУ «БелГУ» для поддержки создания и развития научных структурных подразделений – центров превосходства.

Литература

1. *Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.* Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. – Вып. 14. – С. 7–32.
2. *Мильков Ф.Н.* Современная физическая география: состояние, закономерности, проблемы. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1981. – 398 с.
3. *Бевз В.Н.* Факторы развития и общие признаки бассейновых динамико-генетических систем склоновых ландшафтов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2005. – № 1. – С. 34–32.
4. *Tucker G.E., Hancock G.R.* Modelling landscape evolution // Earth Surf. Processes Landforms. – 2010. – V. 35, No 1. – P. 28–50. – doi: 10.1002/esp.1952.
5. *Маккавеев А.Н., Лихачева Э.А., Некрасова Л.А.* Эволюция водосборных бассейнов малых рек столичного региона // Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность. – М.: Медиа-ИПРЕСС, 2010. – С. 187–197.
6. *Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 346 с.
7. *Философов В.П.* Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. – Саратов: Изд-во Саратов. гос. ун-та, 1960. – 93 с.
8. *Szilagyi J., Parlange M.B.* A geomorphology-based semi-distributed watershed model // Adv. Water Resour. – 1999. – V. 23, No 2. – P. 177–187. – doi: 10.1016/S0309-1708(99)00021-4.
9. *Weissmann G.S., Hartley A.J., Scuderi L.A., Nichols G.J., Owen A., Wright S., Felicia A.L., Holland F., Anaya F.M.L.* Fluvial geomorphic elements in modern sedimentary basins and their potential preservation in the rock record: A review // Geomorphology. – 2015. – V. 250. – P. 187–219. – doi: 10.1016/j.geomorph.2015.09.005.
10. *Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мухарамова С.С., Харченко С.В., Веденева Е.А.* Картографическая модель речных бассейнов Европейской России // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 27–36.
11. *Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю.* Фундаментальные проблемы антропогенной геоморфологии // Геоморфология. – 2013. – № 3. – С. 3–11.
12. *Павлов А.Н., Голосовская В.А., Саноцкая Н.А.* Симметрия и асимметрия речных бассейнов. Обсуждение задачи // Учен. зап. Рос. гос. гидрометеорол. ун-та. – 2011. – № 18. – С. 21–34.
13. *Wende R.* Drainage and valley asymmetry in the Tertiary Hills of Lower Bavaria, Germany // Geomorphology. – 1995. – V. 14, No 3. – P. 255–265. – doi: 10.1016/0169-555X(95)00114-K.
14. *Currey D.R.* A preliminary study of valley asymmetry in the Ogotoruk Creek area, northwestern Alaska // Arctic. – 1964. – V. 17, No 2. – P. 84–98.
15. *Алексеевский Н.И., Косицкий А.Г., Христофоров А.В.* Фрактальные свойства речных систем и их использование в гидрологических расчетах // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2013. – № 371. – С. 167–170.
16. *Русанов А.М., Коваль М.А.* Влияние склоновой асимметрии на свойства почв и почвенный покров Оренбургского Предуралья // Вестн. ОГУ. – 2006. – № 4. – С. 111–114.

17. Назаров Н.Н. Орографические осадки и эрозионные процессы // Материалы XIII пленарного межвузовского координационного совещания по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. – Псков, 1998. – С. 128–130.
18. Горбунов Р.В. Собственная диссимметрия склоновых локальных ландшафтных комплексов // Экосистемы, их оптимизация и охрана. – 2011. – № 4. – С. 157–173.
19. Фролов А.А., Черкашин А.К. Высотный градиент как комплексный фактор формирования микроразнообразности ландшафтов и серийности геосистем // География и природные ресурсы. – 2012. – № 1. – С. 14–24.
20. Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Место возникновения и развития речных бассейнов и его геоморфологический анализ // Эколого-географические исследования в речных бассейнах. – Воронеж: Ворон. гос. пед. ун-т, 2014. – С. 6–20.
21. Реки и водные объекты Белогорья / Под ред. Ф.Н. Лисецкого. – Белгород: Константа, 2015. – 362 с.
22. Нарожняя А.Г. Экологическая и энергетическая оценки агроландшафтов при их адаптивном землеустройстве: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – 2011. – 22 с.
23. Кузьменко Я.В., Лисецкий Ф.Н., Кириленко Ж.А., Григорьева О.И. Обеспечение оптимальной водоохранной лесистости при бассейновой организации природопользования // Изв. Сам. науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15, № 3. – С. 652–657.
24. Лисецкий Ф.Н., Павлюк Я.В., Кириленко Ж.А., Пичура В.И. Бассейновая организация природопользования для решения гидроэкологических проблем // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 8. – С. 66–76.
25. Grigoreva O.I., Buryak Zh.A. Application of basin approach for soil and water protection geoplanning of territory and environmental management // Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci. – 2016. – V. 7, No 1. – P. 2175–2182.
26. Купрюшин А.П. О структуре малых речных бассейнов // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 1. – С. 20–26.
27. Yermolaev O.P., Lisetskii F.N., Marinina O.A., Buryak Zh.A. Basin and eco-regional approach to optimize the use of water and land resources // Biosci., Biotechn. Res. Asia. – 2015. – V. 12. – P. 145–158. – doi: 10.13005/bbra/2021.
28. Нарожняя А.Г., Буряк Ж.А. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа Белгородской области разной степени генерализации // Науч. вестн. Белгород. гос. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2016. – Т. 37, № 25. – С. 169–178.
29. Morgan R.P.C. Soil erosion. – London, New York: Longman, 1979. – 113 p.
30. Лисецкий Ф.Н., Половинко В.В. Эрозионные катены на земляных фортификационных сооружениях // Геоморфология. – 2012. – № 2. – С. 65–77.
31. Швевс Г.И. Формирование водной эрозии стока наносов и их оценка. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 184 с.
32. Методические указания по ландшафтным исследованиям для сельскохозяйственных целей / Под ред. Г.И. Швевса, П.Г. Шищенко. – М.: ВАСХНИЛ, 1990. – 58 с.

Поступила в редакцию
03.11.17

Лисецкий Федор Николаевич, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
E-mail: liset@bsu.edu.ru

Буряк Жанна Аркадьевна, кандидат географических наук, младший научный сотрудник Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов

Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
E-mail: buryak@bsu.edu.ru

Маринина Ольга Андреевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры ландшафтной экологии; старший научный сотрудник Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия
Белгородский государственный национальный исследовательский университет
ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия
E-mail: marinina@bsu.edu.ru

ISSN 2542-064X (Print)
ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2018, vol. 160, no. 3, pp. 500–513

**Geomorphological Asymmetry of River Basins Belonging to Different Orders
(Based on the Belgorod Region)**

F.N. Lisetskii^{a}, Zh.A. Buryak^{a**}, O.A. Marinina^{b,a***}*

^a*Belgorod State National Research University, Belgorod, 308015 Russia*

^b*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

E-mail: ^{*}liset@bsu.edu.ru, ^{**}buryak@bsu.edu.ru, ^{***}marinina@bsu.edu.ru

Received November 6, 2017

Abstract

The geomorphological analysis of the erosion potential of 52 sublatitudinal and 39 submeridional river basins within the boundaries of the Belgorod region has been performed. The asymmetry of each of them has been determined. A typology of paradynamical areas has been elaborated with the help of the digital elevation model, based on the objectively detected differences of exposure, vertical dissection, and joint influence of the length and steepness of slopes (relief function). The paradynamical areas comprise the geomorphological stages on the macroslope of the river basin. It has been shown that the most significant factors of integration of the paradynamical areas into the geomorphologically homogeneous units are the relief function and vertical dissection. The effect of exposure differences occurs at a lower level of integration. The spatial orientation and order of the basin determine the features of asymmetry of its macroslopes. The asymmetry of submeridional basins appears only for the watercourses of V–VII orders, thereby indicating the scale limits of this regularity.

Keywords: river basin, soil erosion potential of relief, asymmetry, morphometric analysis, GIS technology

Acknowledgments. This study was funded by Russian Science Foundation (project no. 15-17-10008) and the university grant of Belgorod State University for supporting the foundation and development of research structural units – centres of excellence.

Figure Captions

Fig. 1. Changes in the asymmetry coefficient (C) in relation to the relief function (LS), horizontal dissection (K), exposure coefficient (E), and vertical dissection (ΔH) depending on the orientation of the basins – rhumb (r).

Fig. 2. The dendrogram of geomorphological typification of the sub-basins: D – the distance of joining; $D1$, $D2$ – the borders of the threshold of defining the types and subtypes of the sub-basins.

Fig. 3. The paradynamical areas of the Belgorod region.

References

1. Simonov Yu.G., Simonova T.Yu. River basin and basin organization of geographical cover. *Eroziya Pochv Ruslovye Protsessy*, 2003, no. 14, pp. 7–32. (In Russian)
2. Mil'kov F.N. *Sovremennaya fizicheskaya geografiya: sostoyanie, zakonmernosti, problemy* [Current Physical Geography: State, Regularities, Problems]. Voronezh, Izd. Voronezh. Univ., 1981. 398 p. (In Russian)
3. Bezv V.N. Factors of development and common features of basin dynamic and genetic systems of slope landscapes. *Vestn. Voronezh. Gos. Univ. Ser. Geogr. Geoekol.*, 2005, no. 1, pp. 34–32. (In Russian)
4. Tucker G.E., Hancock G.R. Modelling landscape evolution. *Earth Surf. Processes Landforms*, 2010, vol. 35, no. 1, pp. 28–50. doi: 10.1002/esp.1952.
5. Makkaveev A.N., Likhacheva E.A., Nekrasova L.A. Evolution of watersheds of the small rivers in the Moscow metropolitan area. In: *Geomorfologicheskie Sistemy: Svoistva, Ierarkhiya, Organizovannost'* [Geomorphological Systems: Properties, Hierarchy, Organization]. Moscow, Media-PRESS, 2010, pp. 187–197. (In Russian)
6. Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* [River Bed and Erosion in Its Basin]. Moscow, Izd. Akad. Nauk SSSR, 1955. 346 p. (In Russian)
7. Filosofov V.P. *Kratkoe rukovodstvo po morfometricheskomu metodu poiskov tektonicheskikh struktur* [Quick Guide to Morphometric Method for Exploration of Tectonic Structures]. Saratov, Izd. Sarat. Gos. Univ., 1960. 93 p. (In Russian)
8. Szilagyi J., Parlange M.B. A geomorphology-based semi-distributed watershed model. *Adv. Water Resour.*, 1999, vol. 23, no. 2, pp. 177–187. doi: 10.1016/S0309-1708(99)00021-4.
9. Weissmann G.S., Hartley A.J., Scuderi L.A., Nichols G.J., Owen A., Wright S., Felicia A.L., Holland F., Anaya F.M.L. Fluvial geomorphic elements in modern sedimentary basins and their potential preservation in the rock record: A review. *Geomorphology*, 2015, vol. 250, pp. 187–219. doi: 10.1016/j.geomorph.2015.09.005.
10. Ermolaev O.P., Mal'tsev K.A., Mukharamova S.S., Kharchenko S.V., Vedeneeva E.A. Cartographic model of river basins of European Russia. *Geogr. Nat. Resour.*, 2017, vol. 38, no. 2, pp. 131–138. doi:10.1134/S1875372817020032.
11. Simonov Yu.G., Simonova T.Yu. Fundamental problems of anthropogenic geomorphology. *Geomorfologiya*, 2013, no. 3, pp. 3–11. (In Russian)
12. Pavlov A.N., Golosovskaya V.A., Sanotskaya N.A. Symmetry and asymmetry of river basins. Discussion of problem. *Uch. Zap. Ross. Gos. Gidrometeorol. Univ.*, 2011, no. 18, pp. 21–34. (In Russian)
13. Wende R. Drainage and valley asymmetry in the Tertiary Hills of Lower Bavaria, Germany. *Geomorphology*, 1995, vol. 14, no. 3, pp. 255–265. doi: 10.1016/0169-555X(95)00114-K.
14. Currey D.R. A preliminary study of valley asymmetry in the Ogotoruk Creek area, northwestern Alaska. *Arctic*, 1964, vol. 17, no. 2, pp. 84–98.
15. Alekseevskii N.I., Kositskii A.G., Khristoforov A.V. Fractal properties of the river systems and their use in hydrological calculations. *Vestn. Tomsk. Gos. Univ.*, 2013, no. 371, pp. 167–170. (In Russian)
16. Rusanov A.M., Koval M.A. Influence of slope asymmetry on the soil properties and soil cover of the Cis-Ural region near Orenburg. *Vestn. Orenb. Gos. Univ.*, 2006, no. 4, pp. 111–114. (In Russian)
17. Nazarov N.N. Orographic precipitation and erosion processes. *Materialy XIII plenarnogo mezhvuzovskogo koordinatsionnogo soveshaniya po probleme erozionnykh, ruslovykh i ust'evykh protsessov* [Proc. XIII Plenary Interuniv. Coord. Conf. on the Problem of Erosion, Fluvial and Estuarine Processes]. Pskov, 1998, pp. 128–130. (In Russian)

18. Gorbunov R.V. Asymmetry of slope local landscapes. *Ekosist., Ikh Optim. Okhr.*, 2011, no. 4, pp. 157–173. (In Russian)
19. Frolov A.A., Cherkashin A.K. Altitudinal gradient as a complex factor for formation of landscape microzonality and geosystem serialness. *Geogr. Nat. Resour.*, 2012, vol. 3, no. 1, pp. 10–18. doi: 10.1134/S1875372812010027.
20. Simonov Yu.G., Simonova T.Yu. Place of origin and development of the river basin and its geomorphological analysis. In: *Ekologo-geograficheskie issledovaniya v rechnykh basseynakh* [Ecological and Geographical Research in River Basins]. Voronezh, Voronezh. Gos. Pedagog. Univ., 2014, pp. 6–20. (In Russian)
21. Lisetskii F.N. (Ed.) *Reki i vodnye ob"ekty Belogor'ya* [Rivers and Water Bodies in Belogorie]. Belgorod, Konstanta, 2015. 362 p. (In Russian)
22. Narozhnyaya A.G. Environmental and energy evaluation of agricultural landscapes in their adaptive land management. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Diss.* Belgorod, 2011. 22 p. (In Russian)
23. Kuz'menko Ya.V., Lisetskii F.N., Kirilenko Zh.A., Grigoreva O.I. Ensuring an optimum bank-protection forest zone in case of basin organization of nature management. *Izv. Samar. Nauchn. Tsentra Ross. Akad. Nauk*, 2013, vol. 15, no. 3, pp. 652–657. (In Russian)
24. Lisetskii F.N., Pavlyuk Ya.V., Kirilenko Zh.A., Pichura V.I. Basin organization of nature management for solving hydroecological problems. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, no. 8, pp. 550–557. doi: 10.3103/S106837391408007X.
25. Grigoreva O.I., Buryak Zh.A. Application of basin approach for soil and water protection geoplanning of territory and environmental management. *Res. J. Pharm., Biol. Chem. Sci.*, 2016, vol. 7, no. 1, pp. 2175–2182.
26. Kupryushin A.P. On the structure of small river basins. *Probl. Reg. Ekol.*, 2011, no. 1, pp. 20–26. (In Russian)
27. Yermolaev O.P., Lisetskii F.N., Marinina O.A., Buryak Zh.A. Basin and eco-regional approach to optimize the use of water and land resources. *Biosci., Biotechnol. Res. Asia*, 2015, vol. 12, pp. 145–158. doi: 10.13005/bbra/2021.
28. Narozhnaja A.G., Buryak Zh.A. Morphometric analysis of digital elevation models of the Belgorod region at different degrees of generalization. *Nauchn. Vedomosti Belgorod. Gos. Univ. Ser. Estestv. Nauki*, 2016, vol. 37, no. 25, pp. 169–178. (In Russian)
29. Morgan R.P.C. *Soil Erosion*. London, New York, Longman, 1979. 113 p.
30. Lisetsky F.N., Polovinko V.V. Erosion catenas on soil fortifications. *Geomorfologiya*, 2012, no. 2, pp. 65–77. (In Russian)
31. Shvebs G.I. *Formirovanie vodnoi erozii stoka nanosov i ikh otsenka* [Formation Water Erosion of Sediment Runoff and Their Evaluation]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. 184 p. (In Russian)
32. Shvebs G.I., Shishchenko P.G. (Eds.) *Metodicheskie ukazaniya po landshaftnym issledovaniyam dlya sel'skokhozyaistvennykh tselei* [Guidelines for Landscape Studies for Agricultural Purposes]. Moscow, VASKhNIL, 1990. 58 p. (In Russian)

Для цитирования: Лисецкий Ф.Н., Буряк Ж.А., Маринина О.А. Геоморфологическая асимметрия разнопорядковых речных бассейнов (на примере Белгородской области) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2018. – Т. 160, кн. 3. – С. 500–513.

For citation: Lisetskii F.N., Buryak Zh.A., Marinina O.A. Geomorphological asymmetry of river basins belonging to different orders (based on the Belgorod region). *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2018, vol. 160, no. 3, pp. 500–513. (In Russian)