

EVENTUAL CHANGES IN THE CORAL COASTS' MORPHOLOGY AND DYNAMIC IN THE LIGHT OF "GLOBAL WARMING" CONCEPT

Yu.A. PAVLIDIS

S u m m a r y

Coral coasts are very sensitive to environmental changes including climatic and eustatic variations. Global changes of nowadays manifest itself in climate warming, in sharp increasing of marine surface positive temperature anomalies, in sea level rise. The modern climatic conditions approach to a kind of climatic optimum like the middle Holocene optimum named "Atlantic period", when "Seboruko" terrace, consisted mainly of coral fragments, was formed. Probably, the sea level rise after reaching its extreme will decrease as it happened before. Like the several last analogous events, this phase could take one-two centenary. Corals undergo now strong temperature impact, which manifests in their decoloration. Sea level decrease even during short period may cause wide destruction of coral reef tops followed by intensive accumulation of carbon material on the seabed. In accordance with the regularities of the coastal dynamics this loose material will move to and along the coastline and form accumulative relief such as beaches and terraces. Being within geochemical sealand barrier in equator-tropical climate these landforms will undergo the intensive cementation processes. As a result new terrace will be formed like Late Holocene "Seboruko" terrace.

УДК 551.435.11(282.247.415)

© 2002 г. О.М. ПАХОМОВА

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ РУСЛОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И ИХ СВЯЗЬ С ПОРЯДКОВОЙ СТРУКТУРОЙ РЕЧНОЙ СЕТИ¹

Берега рек, а также прибрежные части поймы и низких террас являются объектами интенсивного хозяйственного освоения (бытовое и промышленное строительство, использование в сельскохозяйственных целях, сооружение мостовых переходов, опор линий связи и электропередач, прокладка нефте- и газопроводов). При размывах берегов могут быть уничтожены освоенные территории, разрушены здания и сооружения. Недооценка размывов зачастую приводит к аварийным ситуациям. В последнее время в условиях снижения возможностей проведения натурных исследований или полного их отсутствия, ухудшения качества или трудности получения гидрометеорологической сетевой информации остро встал вопрос о возможности применения при оценках интенсивности русловых переформирований для неизученных рек сведений о порядках рек, зависящих от структуры речной сети, с выявлением связей между ними.

Размывы берегов на реках разных порядков изучались на примере бассейна р. Белой, левого притока р. Камы. Бассейн р. Белой расположен на востоке Восточно-Европейской равнины и в пределах западной и центральной частей Уральских гор. Площадь бассейна 142000 км², длина главной реки 1430 км, средний многолетний расход воды в замыкающем створе 550 м³/с (гидрологический пост у д. Андреевка). Для анализа горизонтальных деформаций на морфологически однородных участках рек бассейна р. Белой были отобраны следующие сведения: 1) преобладающий морфодинамический тип русла (по классификации Р.С. Чалова [1]); 2) литология берегов (скальные, глинистые, суглинистые, песчаные); 3) руслообразующие наносы (илистые, песчаные, песчано-галечные и галечные); 4) скорость размыва берегов (по грациям 0 – нет размыва, < 2, 2–5, 5–10 м/год). Перечисленные выше сведения были получены из базы данных ГИС "Реки России" [2], в составлении которой автор принимала участие вместе с рядом сотрудников НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева МГУ. Средние темпы отступления берега определялись непосредственным наложением разновременных топографических карт м-ба 1 : 25 000 и 1 : 10 000. Средняя скорость размыва

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке программы ведущих научных школ (проект № 00-15-98512) и РФФИ (проект № 00-05-64690).

берегов рассчитывалась делением величины максимального смещения бровки берега на участке размыва в пределах одной русловой формы (излучины, узла разветвления или участка относительно прямолинейного русла) на промежутки времени между двумя съемками. В случае отсутствия сведений о скоростях отступления берегов в ГИС "Реки России" уточнение производилось при помощи карты "Морфология и динамика русла рек европейской части России и сопредельных государств" [3].

Для анализа выбраны участки с преобладанием адаптированных и широкопойменных русел; на участках врезанных русел скорость размыва берегов была принята за 0. В связи с тем что в базе данных и на карте средняя скорость размыва берегов представлена в виде нескольких градаций, для построения графиков связи выбиралось наивысшее значение скорости в каждом интервале, которое принималось за среднемаксимальную скорость размыва на данном морфологически однородном участке.

Порядок реки N рассчитывался по формуле А.Е. Шайдеггера [4], схема расчета структуры речной сети которого принята в настоящей работе:

$$N = \log_2(P) + 1,$$

где P – число притоков первого порядка. В данной схеме изменение N происходит постепенно, плавно, что создает предпосылки для учета согласованных колебаний N и характеристик водного объекта. Для определения числа притоков первого порядка использовалось издание "Ресурсы поверхностных вод", в частности том "Гидрологическая изученность", при этом, согласно предложению Н.И. Алексеевского [5], притоком первого порядка считался поток длиной < 10 км. Подобный подход позволяет отказаться от кропотливых измерений по топографическим картам.

Анализ позволил выявить связь между порядком рек N и среднемаксимальной скоростью размыва C (рис. 1А). Для всех исследуемых участков рек бассейна р. Белой поле точек $C(N)$ аппроксимируется экспоненциальной зависимостью $C = 0.72 e^{0.15N}$, где C – средне-максимальная скорость размыва. Корреляционное отношение r (V) данной зависимости составляет 0.73. Подразделение поля точек на три большие группы ($C = 2$, $C = 5$, $C = 10$) объясняется исходным материалом: исходные величины средних скоростей размыва берегов даны в виде интервалов 0–2, 2–5, 5–10 м/год, которые характеризуют осредненные значения скоростей отступления берегов в пределах морфологически однородных участков. Следовательно, о скорости отступления берега в каждой конкретной точке данного участка можно сказать лишь то, что она не превышает верхней границы интервала, т.е. 2, 5 и 10 м/год соответственно. Поэтому даже если реальная скорость отступления берега в конкретной точке морфологически однородного участка равна, например, 3, 4 м/год, среднемаксимальная скорость отступления берега в этой точке принимается равной 5 м/год, так как она находится в интервале скорости от 2 до 5 м/год. Если рассматривать поле точек без линий тренда, можно заметить, что амплитуда колебаний скоростей размыва берега сильно различается для участков рек с различными порядками. Так, при $N < 9.5$ среднемаксимальная скорость размыва берегов C не превышает 2 м/год, при $N = 9.5$ –12 $C = 2$ –5 м/год, а при $N > 13$ $C = 5$ –10 м/год. Подобная связь среднемаксимальных скоростей отступления берегов с порядком реки свидетельствует о том, что $N = 10$ можно считать границей между малыми и средними реками, а $N = 13$ –14 – между средними и большими реками.

Для того чтобы выявить влияние условий развития русловых деформаций на скорость размыва берегов, исследуемые участки были разбиты на две группы: в первой находились участки с преобладанием адаптированных излучин, во второй – свободных излучин (рис. 1А, б). На рисунке видно, что свободные излучины различаются большим разбросом значений C внутри определенного интервала N , чем адаптированные излучины. Так, для свободных излучин рек, имеющих порядок $N < 9$, скорость размыва берегов $C \leq 2$ м/год, $N = 9$ –10 – $C = 2$ –5 м/год, $N = 10$ –13 – $C \leq 5$ м/год, $N > 13$ – $C = 5$ –19 м/год. Для адаптированных излучин на реках порядков $N < 10.5$ – $C = 2$ м/год, $N = 10.5$ –14 – $C = 2$ –5 м/год, $N > 14$ – $C \leq 10$ м/год. При этом зависимости среднемаксимальной скорости размыва берегов от порядка рек для этих групп аппроксимируются экспоненциальными уравнениями $C = 0.69 e^{0.16N}$ ($r = 0.80$) – для свободных и $C = 0.78 e^{0.14N}$ ($r = 0.71$) – для адаптированных излучин. Таким образом, на участках рек с широкопойменным руслом скорость размыва берегов больше, чем на участках с адаптированным руслом при одном и том же порядке реки. Это связано с тем, что адаптированные русла развиваются в относительно более трудноразмываемых породах, чем широкопойменные, либо их деформации частично ограничены коренными берегами. Кроме того, выяснилось, что

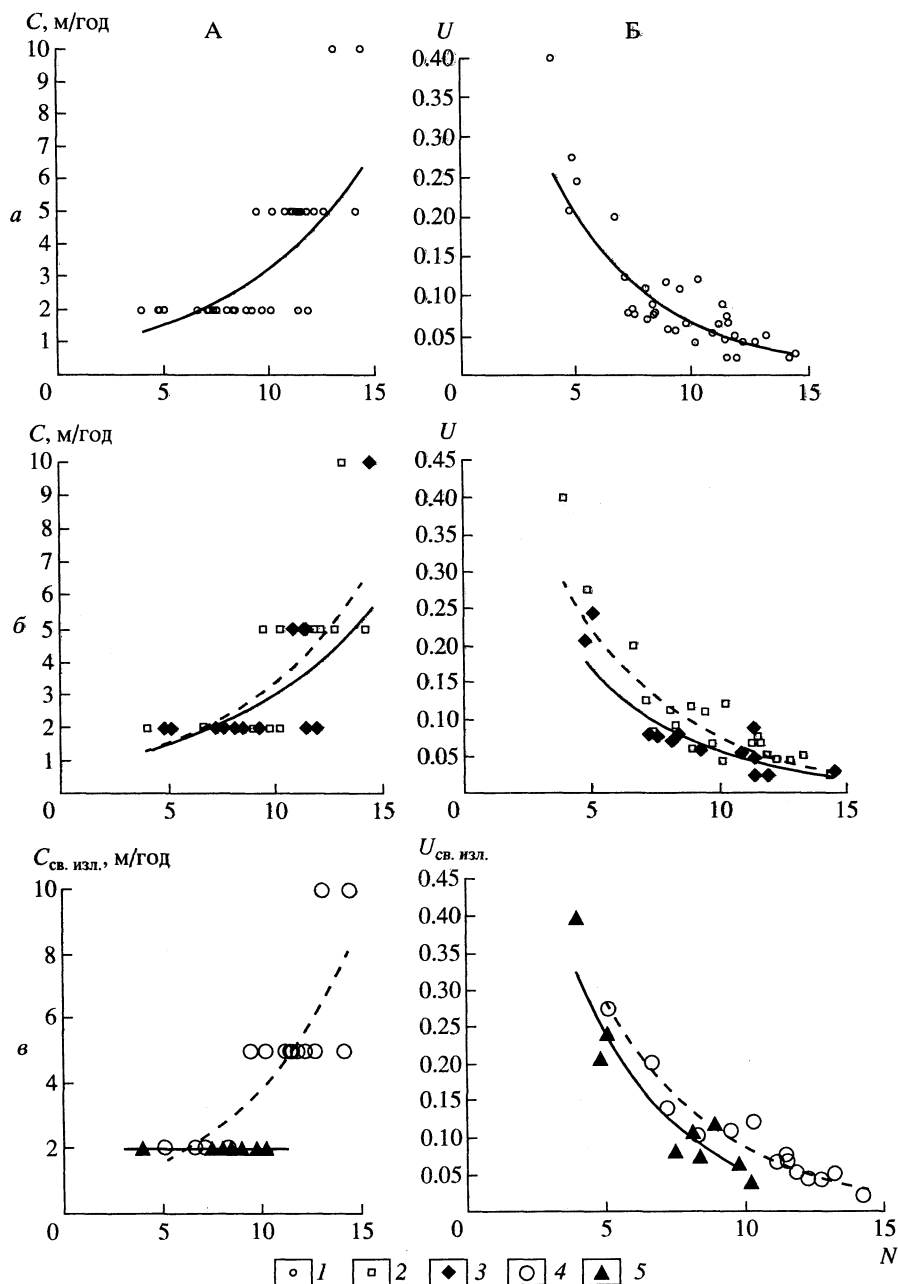


Рис. 1. Зависимость среднemaxимальной (А) и относительной (Б) скорости размыва берегов от порядка рек a – для всех рек бассейна р. Белой, $б$ – для участков с преобладанием свободных (пунктирная линия) и адаптированных излучин (сплошная линия), $в$ – для суглинистых (пунктирная линия) и песчаных (сплошная линия) берегов (на участках свободно меандрирующего русла); 1 – все излучины, 2 – свободные излучины, 3 – адаптированные излучины, 4 – реки с песчаными берегами, 5 – реки с суглинистыми берегами

на излучинах, подмываемые берега которых сложены суглинками, скорость отступления берегов минимальна (2 м/год) независимо от порядка реки (рис. 1А, а). Если же берега песчаные и супесчаные, то среднмаксимальная скорость размыва берегов увеличивается с ростом порядка реки, аппроксимируясь зависимостью экспоненциального вида $C = 0.66e^{0.17N}$ ($\rho = 0.87$) (рис. 1А, в).

На рис. 1А, в также видно, что на свободных излучинах рек с песчаным строением берегов при переходе их через 9–10 и 13–15 порядки происходит резкое увеличение скорости размыва. Это еще раз свидетельствует в пользу того, чтобы считать 10-й порядок, по схеме А. Шайдегера [4] соответствующий $L \approx 200$ км, границей между малыми и средними, а 14-й порядок, соответствующий $L \approx 1400$ км – между средними и большими реками.

Очевидно, что абсолютное значение скорости отступления берега (например, 5 м/год) для малых и больших рек имеет разное значение: для рек малых порядков это огромная величина, сопоставимая с их собственной шириной, для больших и особенно крупнейших – ничтожно малая. Поэтому необходимо ввести относительную характеристику, позволяющую исключить влияние размера реки на оценку значимости величины скорости размыва ее берегов. В качестве такой характеристики использовалась *относительная скорость размыва берега* (U). Этот показатель представляет собой отношение расстояния, на которое за год отступает берег реки (B_d , м), к средней ширине меженного русла (B , м) на данном морфологически однородном участке, т.е. $U = B_d/B$. Умножая полученную величину на 100, можно выразить относительную скорость в процентах от ширины русла. Проведенный анализ показал, что относительная скорость размыва для всего бассейна реки Белой достаточно тесно ($\rho = 0.86$) связана с порядком реки, а полученная зависимость аппроксимируется экспоненциальным уравнением $U = 0.64e^{-0.22N}$ ($\rho = 0.86$) (рис. 1Б, а): с увеличением размера реки относительная скорость размыва берегов уменьшается – если для рек 4–5-го порядка она составляет от 20 до 40%, то для рек 14–15-го порядка – от 2 до 3%.

Анализ зависимости относительной скорости размыва от порядка рек отдельно для участков со свободными и адаптированными излучинами (рис. 1Б, б) показал, что при одном и том же порядке реки относительная скорость размыва на участках адаптированного русла ниже, чем на широкопойменных. Эти зависимости аппроксимируются экспоненциальными уравнениями $U = 0.61e^{-0.23N}$, $\rho = 0.87$ – для адаптированных и $U = 0.69e^{-0.22N}$, $\rho = 0.89$ – для свободных излучин. Кроме того, при одном и том же порядке реки относительная скорость их размыва будет больше, если они сложены песками, чем если они сложены суглинками. С увеличением порядка реки относительная скорость размыва берегов убывает (рис. 1Б, в), аппроксимируясь зависимостями $U = 1.05e^{-0.29N}$ ($\rho = 0.94$) и $U = 0.92e^{-0.24N}$ ($\rho = 0.95$) для суглинистых и песчаных берегов соответственно.

Для уточнения зависимости скорости размыва берегов от порядковой структуры речной сети использовались материалы, приведенные Е.В. Камаловой [6] для малых и средних рек бассейнов верхней Волги и верхнего Дона (процессы разрушения берегов рек исследуемого района изучались ею "на материале совмещенных топографических съемок м-ба 1 : 25 000 и 1 : 10 000 с привлечением литературных источников и данных, помещенных на специальных географических и геологических картах" [6]). В частности, было выяснено, что в том случае, когда главным фактором отступления берега является его размыв потоком половодья (без проявления других процессов), средние скорости отступления берегов C зависят как от порядка реки N , так и от ее уклона (I). Поэтому графики связей $C = f(I, N)$ имеют вид серии линий, аналитическое выражение каждой из которых дано в таблице.

Абсолютные значения скоростей размыва для рек разного порядка при близких значениях уклонов существенно различаются. Например, при уклоне $> 0.24\%$ они составляют 0.4 м/год на реках от 3-го до 5-го порядка, 1.7 м/год на реках от 8-го до 9.5-го порядка и почти 2.6 м/год на реках с $N > 11$. Таким образом, при изменении порядка реки с 3-го до 11-го скорости размыва берегов увеличиваются в 6 раз. Достаточно высокое корреляционное отношение ($\rho = 0.8–0.9$) объясняется тем, что интенсивность размыва берегов потоком половодья определяется исключительно характеристиками потока – его скоростью и соответственно уклоном и среднмаксимальным расходом воды. Уклон и расход воды в свою очередь связаны с порядком реки. Кроме того, размыв берега непосредственно потоком половодья характерен для рек, протекающих в свободных условиях руслоформирования, т.е. в легкоразмываемых несвязных грунтах, что обуславливает быструю реакцию скорости отступления берега на изменения характеристик потока.

**Связь скорости отступления берегов от уклона и порядка потока
(деформации берегов происходят в результате размыва потоком
половодья)**

$C = f(I)$	Корреляционное отношение, ρ	Порядок, N
$C = 4.0 I - 2.0$	0.99	1–3
$C = 1.7 I + 0.18$	0.82	3–5
$C = 2.3 I^{0.67}$	0.81	5–8
$C = 3.3 I^{0.60}$	0.77	8–9.5
$C = 5.8 I + 0.60$	0.79	9.5–11
$C = 8.4 I + 0.62$	0.88	> 11

В том случае, когда отступление берегов происходит в результате действия ряда факторов одновременно (размыв потоком половодья, оползание и оседание блоками), зависимость $C = f(I, N)$ выражается лишь в виде тенденции, причем теснота связи уменьшается с увеличением порядка. Четкую связь можно выделить лишь для рек не выше 5-го порядка, а при $N > 5$ она практически отсутствует – при изменении уклона от 0.02 до 0.22‰ скорость отступления берега может колебаться от 0.9 до 3.4 м/год.

Между скоростью отступления берегов и порядковой структурой речной сети существует прямая связь. По мере роста уклона и соответственно скорости потока и его транспортирующей способности интенсивность деформаций берегов увеличивается. Если отступление берегов происходит путем размыва потоком половодья (рис. 2А), а также совместно из-за размыва потоком половодья и оползания (рис. 2Б), то эта зависимость проявляется особенно четко. При одних и тех же уклонах для крутых излучин ($l/L > 1.6$, но $r/B = 2.5–3.5$; здесь l – длина, L – шаг, r – радиус кривизны, B – ширина русла в вершине излучин) в том случае, если деформации берегов происходят только вследствие размыва потоком половодья, она выражается серией кривых экспоненциального вида (рис. 2А): $C = 0.06e^{0.35N}$ ($\rho = 0.82$) для $I = 0.2–0.3\text{‰}$, $C = 0.019e^{0.46N}$ ($\rho = 0.93$) для $I = 0.1–0.2\text{‰}$ и $C = 0.016e^{0.44N}$ ($\rho = 0.87$) для $I < 0.1\text{‰}$. Если же отступление берега обусловлено как размывом потоком половодья, так и оползанием блоками, то поля точек аппроксимируются линейными зависимостями (рис. 2Б): $C = 0.30N - 0.99$ ($\rho = 0.71$) и $C = 0.31N - 1.31$ ($\rho = 0.91$), для $I = 0.1–0.2\text{‰}$ и $I < 0.1\text{‰}$ соответственно.

При равенстве условий, определяющих динамические характеристики потока (уклон, водность, морфология русла), значения средних скоростей отступления берегов, сложенных связными и несвязными грунтами, несколько различаются. Кроме того, при прочих равных условиях с увеличением уклона уменьшается теснота связи $C = f(N)$. Особенно отчетливо это проявляется в том случае, когда в процесс отступления берега добавляются такие механизмы, как оползание и отседание. Максимальные скорости отступления отмечены у берегов, сложенных несвязанными грунтами, где деформации происходят в результате размыва, оползания и отседания. Благодаря достаточно высоким скоростям у берегов, сползший материал не накапливается у основания откоса, а сразу уносится потоком. Поскольку ведущим процессом деформаций берегового уступа из трех перечисленных является его размыв, скорости деформаций прямо пропорциональны уклону и порядку потока. Активные оползневые процессы в этом случае лишь ускоряют разрушение откоса.

Наименьшие скорости размыва характерны для суглинистых берегов на тех участках рек, где скорости в потоке недостаточны для размыва отложений откоса и в то же время обеспечивают удаление материала, поступающего к основанию уступа в результате проявления других процессов. Деформации берега происходят здесь вследствие оползания и отседания блоков разной величины. Сравнительно высокие темпы отступления уступа обеспечиваются сохранением большой крутизны берегового откоса.

На рсках бассейнов Волги и верхнего Дона с большой скоростью отступают, как правило, откосы, имеющие высоту ниже среднемаксимального уровня затопления. Так, песчаные берега р. Арчеды (бассейн Медведицы), имеющие высоту 7–8 м, размываются со скоростью в 3–4 раза меньшей, чем песчаные берега высотой 2–3 м. Для берегов, сложенных в основном связными грунтами, отмеченная зависимость менее четкая. Это связано с тем, что материал, попадающий в русло при их деформациях, в дальнейшем распадается на структурные отдельные, разрушается на более мелкие агрегаты и уносится потоком во взвешенном состоянии в период половодья.

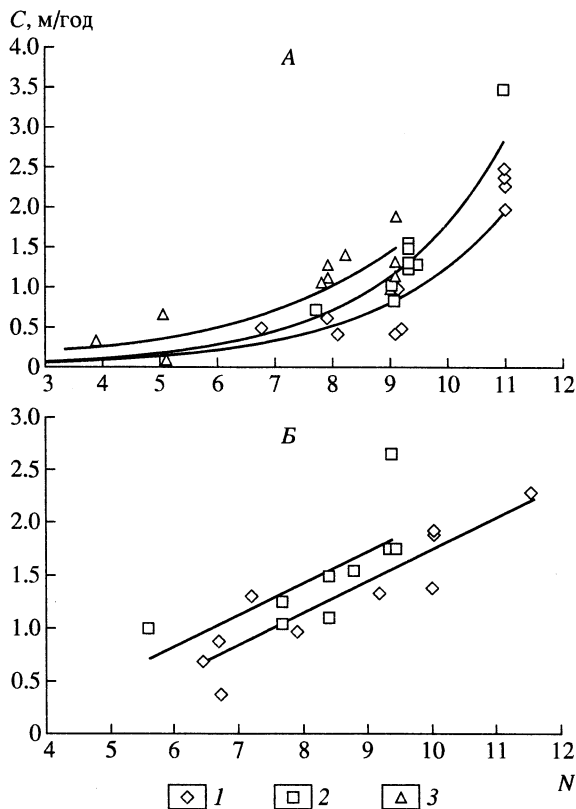


Рис. 2. Зависимость скорости отступления берегов от порядка рек при различных механизмах их разрушения

А – деформации берегов происходят путем размыва потоком половодья, Б – деформации берегов происходят путем размыва потоком половодья и оползания блоками. Реки с уклонами: 1 – $< 0.1\text{‰}$, 2 – $0.1\text{--}0.2\text{‰}$, 3 – $0.2\text{--}0.3\text{‰}$,

На участках рек, где транспортирующая способность потока достаточно велика и материал размыва берегов выносится быстро, высота уступов не влияет на размыв песчаных откосов, но сказывается на темпах деформаций суглинистых откосов. Единственный механизм разрушения берегов, имеющих высоту < 1.5 м – размыв. На более высоких откосах активизируются процессы оползания и отседания небольших блоков, что увеличивает интенсивность деформаций откосов. Это происходит, например, на р. Песь (бассейн верхней Волги) и в среднем течении р. Нары (бассейн Оки). На береговых откосах высотой > 5 м возможно отседание крупных блоков в результате потери устойчивости откоса в целом.

Независимо от различий механизмов размыва берега, уклонов и морфологии русла в условиях ограниченного развития русловых деформаций на реках бассейнов верхней Волги и верхнего Дона темпы горизонтального смещения русла не превышают 1 м/год, что в несколько раз ниже, чем на реках, где деформации идут свободно. Амплитуда скоростей отступления берега в этих условиях практически не меняется при увеличении порядка рек, тогда как в условиях свободного развития русловых деформаций существует явная тенденция к увеличению скорости отступления берегов при росте порядка реки.

Сопоставление результатов, полученных при анализе материалов, приведенных в ГИС "Реки России" и на карте "Морфология и динамика русел рек европейской части России и сопредельных государств", с полученными Е.В. Камаловой [6], позволило сделать следующие выводы.

1. Несмотря на сильно различающуюся точность и степень осреднения исходных материалов, в обоих случаях получена прямая зависимость между скоростью отступления берега и порядком рек: при увеличении порядка реки растет и скорость отступления берега.

2. Зависимость скорости отступления берегов с различным литологическим строением от порядка рек имеет одинаковый вид при использовании различных исходных материалов: скорость отступления суглинистых берегов меньше и не меняется при увеличении порядка рек, скорость отступления песчаных берегов возрастает с увеличением порядка реки.

3. Значения скоростей отступления берега меньше у адаптированных излучин, чем у свободных излучин на реках одного порядка.

4. Для свободных излучин в песчаных берегах связь $C = f(N)$ имеет экспоненциальный характер; использование данных по рекам бассейнов верхней Волги и верхнего Дона позволило уточнить ее для различных уклонов.

Таким образом, анализ результатов, полученных из двух различных источников, показал, что вид зависимостей $C = f(N)$ в большинстве случаев одинаков, хотя параметры уравнений различаются. Это может объясняться как различными природными условиями рассматриваемых бассейнов, так и степенью осреднения исходного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чалов Р.С. Типы русловых процессов и принципы морфодинамической классификации речных русел // Геоморфология. 1996. № 1. С. 26–36.
2. Алабян А.М., Глазырина П.В. Разработка и использование информационной системы для анализа русловых процессов // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1996. № 5. С. 12–19.
3. Морфология и динамика русел рек европейской части России и сопредельных государств. М-б 1 : 2000000. М.: Федер. служба геод. и картогр., 1999. 4 листа.
4. Шайдеггер А. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 452 с.
5. Алексеевский Н.И. Гряды и их влияние на условия судоходства // Современное состояние водных путей и проблемы русловых процессов. М.: Изд-во МГУ, 1999. С. 61–68.
6. Камалова Е.В. Географические закономерности процессов разрушения берегов на малых и средних реках бассейнов Волги и верхнего Дона: Автореф. дис. ...канд. геогр. наук. М.: МГУ, 1988. 22 с.

Московский государственный университет
Географический факультет

Поступила в редакцию
15.12.2000

LATERAL CHANNEL DEFORMATIONS AND THEIR RELATION TO RIVERS ORDER

О.М. РАКНОВА

S u m m a r y

The correlation between bank recession (mean-maximum and relative) and river order according to A. Scheidegger is analyzed. Author considers different channel types, stream gradients, lithology and shore cutting mechanisms.

УДК 551.435.1:551.435.5(235.222)

© 2002 г. С.А. СЫЧЕВА

РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭТАПОВ РАЗВИТИЯ МИКУЛИНСКОГО ПАЛЕОСКЛОНА

(бассейн верхнего Дона)

В строении погребенных поверхностей сохраняются следы эволюционных изменений ландшафтов [1, 2]. Нами был изучен московско-микулинско-валдайский долинно-балочный склон, имеющий иное простираие по сравнению с современным. Цель статьи – восстановить его историю развития и выявить влияние на современный рельеф и почвенный покров северной лесостепи.

Бассейн Непрядвы – правого притока верхнего Дона приурочен к северным склонам Среднерусской возвышенности. Здесь хорошо развита балочная сеть, сформированная в последний эрозионный цикл и частично унаследованная от предыдущего климатического цикла