

## ПОЧЕМУ РАЗМЫВАЮТСЯ БЕРЕГА РЕК

Р. С. ЧАЛОВ

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

### WHY ARE RIVERBANKS BEING WASHED AWAY

R. S. CHALOV

*The reasons, mechanism, forms of manifestations and spatial-temporal changeability of riverbank erosion are considered. Its dependence on riverbank morphology and structure and its connection with channel processes are shown. The regional (for example, Russian rivers) peculiarities of the proliferation of washed away banks by their intensity and correlation with morphodynamic channel types are given.*

*Рассмотрены причины, механизм, формы проявления и пространственно-временная изменчивость размыва речных берегов. Показаны их зависимость от морфологии и строения берегов, связь с русловыми процессами. Выявлены региональные (на примере рек России) особенности распространения размываемых берегов по их интенсивности и соотношению с морфодинамическими типами русла.*

[www.issep.rssi.ru](http://www.issep.rssi.ru)

Известный русский ученый Л.И. Мечников в книге “Цивилизация и великие исторические реки” (1924) писал: “...основной причиной зарождения и развития цивилизации являются реки. Река во всякой стране является как бы выражением живого синтеза, всей совокупности физико-географических условий...; те же условия увеличивают или уменьшают ее пластическую или разрушительную мощь” [1, с. 355–356]. И далее: “...все они обращают орошаемые ими области то в плодородные житницы, питающие миллионы людей за труд нескольких дней, то... под страхом неминуемой смерти река-кормилица заставляла население соединять свои усилия на общей работе...” (с. 358).

Среди многих разрушительных процессов на Земле заметное место принадлежит размывам речных берегов водными потоками. От них страдают населенные пункты, инженерные объекты, коммуникации, разрушаются водозаборы, опоры линий электропередач (рис. 1), мостовые переходы, утрачиваются сельскохозяйственные угодья, происходит потеря леса. Для борьбы с этим явлением или его предотвращения производят дорогостоящее укрепление берегов, возводят дамбы, осуществляют различные регуляционные мероприятия на реках вплоть до создания искусственного русла, отводящего поток от подвергнувшегося его воздействию объекта, иногда переносят на новые места населенные пункты, инженерные сооружения, коммуникации.

Защита берегов рек от размыва сопровождает всю историю человечества. В Китае во времени династии Западная Хань (с 260 года до н.э. по 24 год н.э.) проводили мероприятия по регулированию русла Хуанхэ для предохранения берегов от воздействия потока при блуждании реки. В России на изменения русел и размывы берегов рек обращал внимание М.В. Ломоносов: “...обитатели по берегам больших рек тому свидетели, коль великие перемены в берегах и стрежах их течение воды, наипаче вешнее, причиняет. Не упоминаю песков, кои весна и осень перебивает, ни лугов, которые быстрина, отнимая от переднего конца, наращивает к заднему, но крутые, которые великие звена иногда с огородами и строениями отседают и в реки опровергаются, будучи подмыты... Все во всем свете рудокопы не



**Рис. 1.** Опора линии электропередач на правобережной пойме р. Оби, находящаяся в аварийном состоянии из-за размыва берега. Фото В.Н. Дьякова

перероют столько земли, не провергнут камней во столет, сколько одной весной разрушат о них льды и быстрина беспримерных вод российских”.

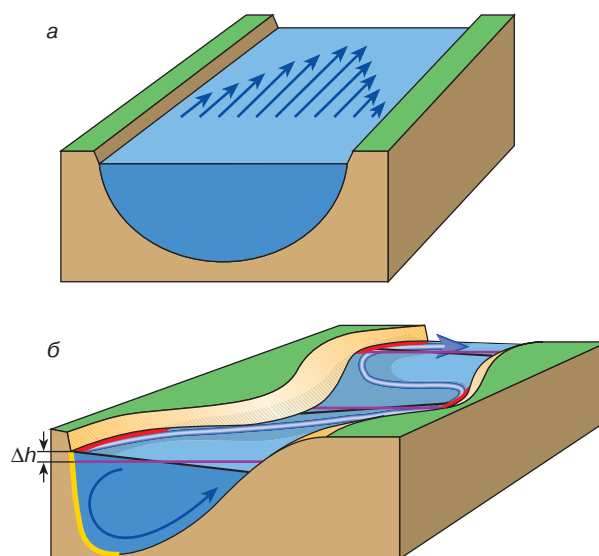
## ФОРМЫ И МЕХАНИЗМ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ

Размывы берегов — природный процесс, свойственный любой реке. Скорость размыва колеблется от долей метра до десятков метров в год, изменчива от половодья к межени, от года к году в зависимости от стадии развития процесса, который возникает, активизируется, затухает, прекращается и вновь возобновляется. Катастрофические скорости размыва берегов зафиксированы на Амударье — 1000–1200 м/год при интенсивности размыва 50 м/ч и фронте проявления по длине реки до 3 км и более.

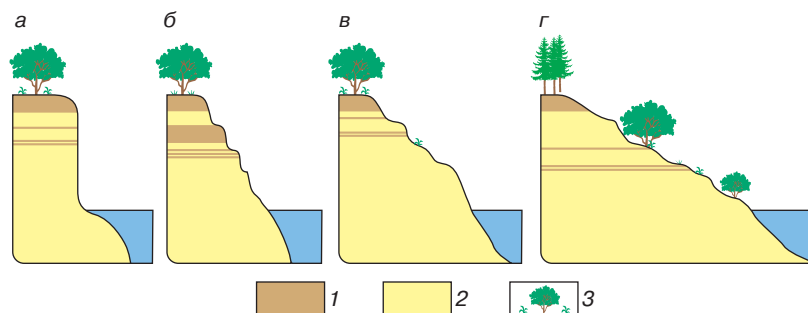
Размывы берегов рек — отражение взаимодействия речного потока и русла реки и постоянных переформирований (деформаций) последнего. Одновременно с ними наблюдается накопление наносов у противоположных берегов. Интенсивность размыва зависит от угла подхода стрежня потока к берегу: чем он больше, тем больше скорость размыва. В прямолинейном русле стрежень потока располагается в его центральной части, к берегам скорость потока снижается, а живое сечение русла имеет параболическую (или близкую к ней)

форму (рис. 2, а). В этих условиях берега не размываются. При искривлении стрежня происходит схождение струй потока возле берега. Здесь образуются пологие волны водной поверхности и местное увеличение скорости потока из-за его сжатия при набегании на берег. Это обуславливает размыв берега и формирование крутого, часто вертикального откоса. Образовавшийся перекоп водной поверхности обуславливает возникновение в потоке циркуляционного течения, донная ветвь которого направлена от размываемого берега. Поскольку придонные слои воды наиболее насыщены наносами, это приводит к их перемещению от “сбойного” берега (так назвал 100 лет назад Н.С. Лелявский берег, к которому прижимается поток) к противоположному, где они формируют прирусловую отмель, способствующую еще большему сжатию потока. Одновременно происходит размыв дна русла, то есть его углубление, у основания крутого откоса. В результате параболическая форма живого сечения потока трансформируется в треугольную (рис. 2, б).

Морфологическими признаками степени интенсивности размыва являются очень сильный (рис. 3, а) — вертикальный обрыв; сильный (рис. 3, б) — обрыв со слабо выраженной ступенчатостью; средний (рис. 3, в) — ступенчатый уступ, отдельные ступеньки покрыты травой и обвалившейся дерниной; слабый (рис. 3, г) —



**Рис. 2.** Различные условия взаимодействия потока с берегами реки: а — параллельное расположение, стрежень проходит посередине русла, берега не размываются; б — поток подходит к берегу под углом, вызывая сжатие струй и размыв берега; у противоположного берега образуется аккумулятивная отмель ( $\Delta h$  — превышение уровня воды у вогнутого берега над средним в живом сечении)



**Рис. 3.** Формы береговых откосов в зависимости от интенсивности размыва; а–г – объяснения в тексте; 1 – суглинок, 2 – песок, 3 – растительность

пологий, мелкоступенчатый уступ с разреженной растительностью. Скорость размыва берегов зависит от их геологического строения (табл. 1) и высоты уступа (чем выше, тем меньше интенсивность размыва): при увеличении высоты с единицы длины размываемого берега в русло поступает большее количество наносов, что снижает размывающую способность потока. Это отражено в формуле К.М. Берковича [2] для скорости отступания берега  $C$  (в м/год):

$$C = K \frac{Q^2 I}{d H_6},$$

где  $Q$  – среднегодовой расход воды (в  $\text{м}^3/\text{с}$ );  $I$  – уклон потока;  $d$  – крупность отложений, слагающих берег (в мм),  $H_6$  – его высота над меженным уровнем воды (в м),  $K$  – коэффициент (в  $\text{м}^3/\text{с}$ ) $^{-1}$ , зависящий от размера реки: при среднегодовом расходе  $Q > 5000 \text{ м}^3/\text{с}$  и ширине реки  $b_p > 15000 \text{ м}$  (крупнейшие реки) он равен  $0,95 \cdot 10^{-5}$ , при  $Q < 300 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $b_p < 50 \text{ м}$  (малые реки) –  $5,5 \cdot 10^{-3}$ .

**Таблица 1.** Скорости размыва берегов рек с различным геологическим строением

Характеристика размыва	Скорость размыва берегов (в м/год), сложенных			
	песками и супесями	суглинками	глинами	торфами, полускальными породами
Очень сильный	>10	>5	>2	>1
Сильный	5–10	2–5	1–2	0,5–1
Средний	2–5	1–2	0,5–1	0,2–0,5
Слабый	<2	<1	<0,5	<0,2

Наибольшая скорость размыва берега наблюдается там, где к нему прижимается стрежень потока. Выше и ниже по течению (см. рис. 2, б) происходит последовательная смена зоны очень сильного размыва сильным, средним, слабым, наконец, берег становится неразмываемым, а затем переходит в прирусловую отмель.

Неоднородность геологического строения берегов – причина не только неодинаковых темпов их отступления, но и возникновения выступающих в русло мысов. У пойменных берегов также мысы связаны с печинами – выступами в основании береговых откосов, сложенными плотными глинами, они соответствуют ложбинам на пойме, в которых шло накопления ила. Чередование печин с отрезками берега, сложенного песками (они соответствуют гривам на пойме), обуславливает фестончатую линию берега (чередование выступов и углублений), а в прибрежной зоне потока – возникновение водоворотов, в которых происходит усиление размыва берега.

Пойменные берега и откосы низких террас подмываются потоком в половодья или дождевыми паводками практически по всей площади береговых уступов. При этом интенсивность размыва зависит от соотношения фактической скорости потока и размывающей для грунтов, слагающих берега. При низких меженных уровнях воды длина фронта размыва сокращается, ограничиваясь участками, где стрежень потока прижимается к берегу. В другие фазы водного режима у основания уступа формируется бичевник (пологонаклонная узкая площадка между уступом и урезом воды), препятствующий контакту с ним потока. Более высокие берега подвергаются воздействию потока только в нижней части. Если это уступы высоких песчаных террас, то поток вымывает в зоне контакта грунт, а вышележащая толща обрушивается в реку. Иногда в основании таких берегов формируется ниша глубиной в сторону берега до нескольких метров. Обрушение толщ происходит блоками, на некоторое время предохраняющими берег

от размыва, если слагающие его пески сцементированы мерзлотой.

На высоких берегах рек, сложенных трудноразмываемыми породами, подмыв потоком их основания активизирует оползни, осыпи или обвалы, и отступление берега происходит за счет этих процессов. Оползневые тела образуют крупные мысы, а при небольшой ширине реки полностью ее перегораживают. В начале 80-х годов подобное явление произошло на р. Пруте. На верхней Оби выше и ниже Барнаула, где река проходит вдоль уступов Предалтайского плато высотой 80–100 м, сложенного лессовидными суглинками, подстилаемыми возле уреза реки плотными глинами, оползни образуют мысы, вдающиеся в реку на 200–300 м (при ширине реки около 1000 м). Огибая их, поток отклоняется к противоположному берегу, способствуя его размыву и развитию второстепенных рукавов возле него.

## РАЗМЫВЫ БЕРЕГОВ НА РЕКАХ С РАЗНЫМ ТИПОМ РУСЛА

Местоположение зон размыва берегов связано с формой русла, то есть его морфодинамическим типом. В зависимости от геолого-геоморфологического строения долин рек русла могут быть широкопойменными ( $B_n > 2-3b_p$ , где  $B_n$  – ширина поймы реки,  $b_p$  – ширина русла), врезанными ( $B_n < b_p$ , или пойма отсутствует) и адаптированными ( $b_p < B_n < 2-3b_p$ ) [3]. Первые соответствуют условиям свободного развития русловых деформаций: берега рек сложены легко размываемыми породами (песками, супесями, суглинками); деформации русла сопровождаются интенсивными размывами пойменных или террасовых берегов. Врезанные русла контролируются коренными берегами, сложенными пластичными или скальными породами; пойма встречается фрагментарно у выпуклых берегов излучин, на островах (условия ограниченного развития русловых деформаций); русло стабильно; его деформации проявляются в исторические или геологические отрезки времени; размывы берегов локальны и невелики. Адаптированные русла занимают промежуточное положение по условиям развития русловых деформаций и их интенсивности.

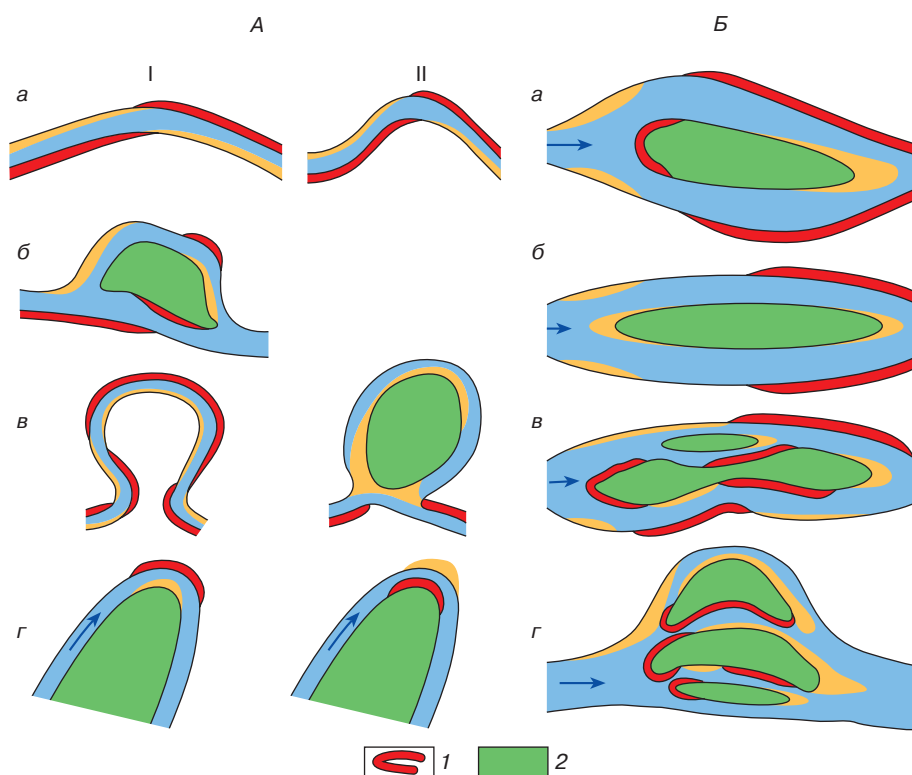
В широкопойменном русле на излучинах размываются вогнутые берега. Излучина образуется, если возникает устойчивое скопление наносов у одного из берегов, которое закрепляется растительностью и превращается в пойму. Изгиб русла вызывает формирование в потоке поля скорости с чередующимися вдоль берегов зонами ускорения и замедления течения и поперечной циркуляцией, направленной от вогнутого к выпуклому берегу [3]. Чередование зон замедления и ускорения течения обуславливает на пологих излучинах ( $l/L < 1,6$ , где  $l$  – длина русла,  $L$  – шаг излучины, то есть расстояние по прямой от начала изгиба до его конца) соответству-

ющее распределение зон размыва берегов и аккумуляции наносов (рис. 4, А, а). Циркуляционные течения вызывают постепенное увеличение кривизны излучин, по мере роста которой скорость размыва берегов возрастает на крупных реках от 1–3 до 20 м/год при их песчаном строении. Излучины, у которых  $l > 1,6L$ , являются крутыми, развивающимися в трех возможных направлениях (рис. 4, А, б–г). Излучина спрямляется при затоплении поймы в половодье путем образования протоки в основании пойменного сегмента. При этом образуется прорванная излучина (рис. 4, А, б). Размывы берегов затухают до образования новой излучины, но старое русло продолжает функционировать, объединяясь с ранее образовавшимися староречьями и образуя извилистые пойменные рукава со своими зонами размыва и намыва берегов. Если такого спрямления не происходит, то при песчаном строении пойменных берегов излучина приобретает петлеобразную форму за счет образования на ее крыльях излучин второго порядка, вогнутые размываемые берега которых ориентированы навстречу друг другу (рис. 4, А, в). Это приводит к спрямлению излучины путем встречного размыва берегов. Старое русло отмирает, превращаясь в старичное озеро.

При глинистом строении пойменных берегов из-за их повышенной устойчивости к размыву излучина приобретает синусоидальную форму (рис. 4, А, г). Участки русла между вершинами смежных излучин имеют вид прямолинейных вставок с относительно стабильными берегами. В вершине излучины зона размыва локализована на коротком отрезке вогнутого берега, где скорости потока выше неразмывающих для глинистых грунтов [4]. Однако по мере его отступления и роста кривизны русла нарушается условие безотрывного обтекания потоком берегов  $r > 3b_p$  ( $r$  – радиус кривизны излучины). Возле вогнутого берега возникает водоворотная зона, в которой происходит накопление наносов, размыв его прекращается, стрежень потока смещается к выпуклому берегу, происходит общая стабилизация русла и берегов.

Во всех случаях у крутых излучин ( $l > 1,6L$ ) интенсивность деформации постепенно затухает [3]. В результате первый этап развития излучин от зарождения до превращения в крутую в 2–3 раза короче, чем второй – до спрямления петлеобразной или стабилизации синусоидальной излучины. Врезанные излучины отличаются стабильностью форм. Стрежень потока закономерно прижимается к вогнутым коренным берегам, вызывая активизацию склоновых процессов и их постепенное отступление.

У разветвленных на рукава рек размываются и острова, и берега рек. Если форма острова отвечает условию  $l_o = 3-4B_o$  ( $l_o$  – длина,  $B_o$  – ширина острова), то рас-



**Рис. 4.** Расположение зон размыва берегов и аккумуляции наносов. А – на разных стадиях развития излучин: а – сегментная пологая (I) и крутая (II), б – прорванная, в – петлеобразная до спрямления (I) и после спрямления (II), г – синусоидальная нормальная (I) и с зонами отрыва потока от берегов (II); Б – в узлах разветвления русла: а, б – простых, в – с вторичным разветвлением и излучинами рукавов, г – веерных; 1 – зоны размыва берегов, 2 – зоны аккумуляции наносов

положение зон размыва возле него соответствует таковому на пологой излучине (рис. 4, Б, а). В общем случае характерным является размыв острова с оголовка (верхней части, обращенной навстречу течению реки) и противоположных ему берегов в нижней части узла. При большом стоке наносов и на реках с галечным аллювием у оголовков островов формируется отмель, а острова имеют веретенообразную форму (рис. 4, Б, б). Зоны размыва локализуются берегами реки напротив их нижней части. При удлиненной форме островов ( $l_o > 3-4B_o$ ) в каждом из рукавов возникают излучины или острова меньших размеров, образующие вторичные разветвления. В этом случае расположение зон размыва внутри рукавов определяется типом русла каждого из них (рис. 4, Б, в). В обоих случаях обычно происходит периодическое развитие рукавов [3]. В отмирающем рукаве преобладают процессы аккумуляции, размывы локализуются на коротких участках, в развивающихся преобладает размыв русла, протяженность размываемых берегов возрастает.

При  $l_o > 3-4B_o$  преобладает поперечное развитие островов за счет формирования излучины одного из рукавов (рис. 4, Б, в). При длине этого рукава  $l = 1,4 - 1,6L$ , где  $L$  – длина прямого рукава, происходит перераспределение стока воды в пользу последнего; искривленный рукав мелеет, в развивающемся формируется новый остров, и процесс повторяется. В результате возникает своеобразный веер рукавов, находящихся в разной стадии развития и отличающихся интенсивностью и протяженностью зон размыва.

В относительно прямолинейном, неразветвленном русле наблюдается слабый размыв одного, обычно затопляемого в половодье берега, тогда как противоположный пойменный – отлогий, возле него происходит аккумуляция наносов. На небольших реках с таким руслом берега вообще часто не размываются, так как из-за малого стока наносов прирусловые отмели не формируются (например, на реках Вологде и верхней Сухоне). При большом стоке наносов напротив отмелей возникают локальные зоны размыва, смещающиеся по



реке и постоянно меняющие свое местоположение вслед за смещением отелей.

## АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕК

Изменения условий размывов берегов рек, их активизация и увеличение протяженности зон происходят под влиянием хозяйственной деятельности. Регулирование стока рек водохранилищами, прохождение волн попусков (искусственных сбросов воды) в нижних бьефах сопровождаются 2–3-кратной активизацией размывов берегов ниже плотин. Со временем этот процесс затухает по мере того, как вырабатывается новое соотношение между формой русла и гидравлическими характеристиками потока, но длительность его проявления составляет многие десятилетия. Характерно, что в период массового строительства крупных гидроузлов вероятность активизации размывов берегов в нижних бьефах не предусматривалась: прогнозы русловых деформаций ограничивались оценками размывов дна рек.

В разветвленном русле ниже ГЭС отмирают рукава, поток сосредоточивается в одном из них, где наблюдаются усиление размывов берегов и общее расширение русла. В меандрирующем (извилистом) происходит перестройка излучин, что сопровождается как активизацией, так и изменением положения зон размыва.

Общий размыв русла ниже гидроузлов как следствие перехвата водохранилищем стока наносов и соответственно возникшего их дефицита в потоке сопровождается смывом прирусловых отелей, в естественных условиях предохранявших берега от воздействия потока. Следствие этого – фронтальный размыв берегов и общее расширение русла на приплотинных участках длиной до десятков километров. К этому же эффекту, но в меньших масштабах приводят русловые карьеры стройматериалов.

Русловыправительные дамбы, стесняя поток, вызывают при одностороннем их размещении размывы

противоположных берегов. Продольные дамбы изменяют угол встречи потока с берегом, и при его увеличении размыв усиливается, при уменьшении затухает вплоть до полного прекращения. Такую же роль играют дноуглубительные прорезы. Активизация размывов берегов происходит под влиянием мостовых переходов и других сооружений в русле и на берегах. Пересечение пойм дорожными насыпями, намыв пойменных территорий, возведение дамб обвалования уменьшают разливы во время половодья вплоть до полной концентрации потока в пойменных берегах. В связи с тем что пропускная способность естественного русла с поймой меньше, чем расход половодья, происходят размывы его дна и берегов. Сами берегоукрепительные сооружения могут провоцировать размывы берегов на ниже расположенных участках реки: закрепляя берег и ликвидируя его размыв, они тем самым создают дефицит наносов, который компенсируется размывом берегов ниже по течению.

Особое место занимают урбанизированные участки рек. Здесь даже при слабых размывах возникает угроза разрушения береговых объектов, усугубляющаяся несогласованностью воздействий на реку как самих инженерных объектов, так и мероприятий по защите берегов от размыва. Во многих городах берегоукрепление производится автономно каждым городским субъектом, часто без проектирования, наиболее дешевым способом. Это дает кратковременный эффект и впоследствии приводит к еще большему обострению ситуации.

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РЕК ПО ОПАСНОСТИ РАЗМЫВА БЕРЕГОВ

Оценка опасности русловых процессов может сопоставляться с показателями устойчивости русла, но по смыслу с противоположным им значениями: чем меньше устойчивость русла, тем больше опасность, и наоборот (табл. 2). Такими показателями являются число Лохтина  $L = d/I$  и коэффициент стабильности русла

Таблица 2. Классификация рек России по опасности размыва берегов [4]

Степень опасности	Опасность, баллы	Устойчивость		Интенсивность русловых деформаций			
		$L$	$K_c$	$C$ , м/год	$C_{\max}$ , м/год	$T$ , годы	$L$ , % длины
Очень высокая (абсолютно неустойчивые русла)	5	$<0,5$	$<2$	$>50$	$>100$	$<3$	$>90$
Высокая (неустойчивые русла)	4	$<2$	$<6$	$>10$	$>50$	3–10	$>80$
Повышенная (слабоустойчивые русла)	3	2–5	6–16	5–10	$>20$	10–20	60–80
Умеренная (относительно устойчивые русла)	2	5–10	15–20	2–5	$>10$	20–80	30–60
Слабая (устойчивые русла)	1	10–50	20–100	$<2$	$>5$	$>80$	$<20$
Отсутствует (абсолютно устойчивые русла)	0	$>50$	$>100$	Размыва нет		Русло стабильно	

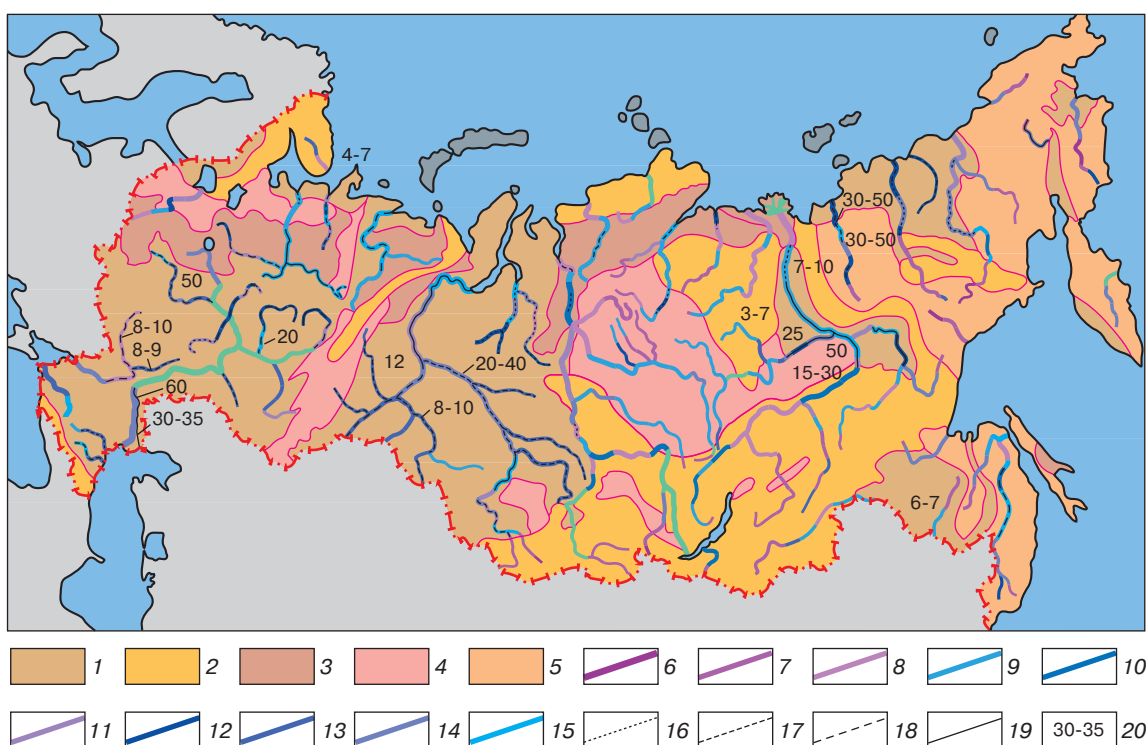
Примечание:  $C$  – скорость размыва берегов;  $C_{\max}$  – максимально возможные размывы берегов;  $T$  – периодичность развития и отмирания рукавов;  $L$  – протяженность фронта размыва.

Н.И. Маккавеева  $K_c = d/bI \cdot 1000$  (здесь  $d$  – крупность аллювия, мм;  $I$  – уклон, ‰;  $b$  – ширина русла, м). В каждом оценочном интервале оба показателя соответствуют определенным пределам осредненных скоростей размыва берегов (в м/год), протяженности зон размыва (в % от длины участка реки), периодичности во времени деформаций русла (развития и спрямления излучин, развития и отмирания рукавов), возможной максимальной скорости размыва берегов (в м/год). Так как эти значения характеризуют степень опасности русловых процессов для существования и функционирования инженерных и других объектов на берегах рек,

то характеристика устойчивости русла дополняется оценкой самой опасности (от 0 до 5 баллов).

## РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ РАЗМЫВОВ БЕРЕГОВ НА РЕКАХ РОССИИ

Распространение, формы и интенсивность размывов берегов рек определяются геолого-геоморфологическим строением долин, водностью рек, другими природными факторами (многолетней мерзлотой, растительностью на берегах). Наибольшая протяженность фронта размыва и максимальная его скорость характерны для



**Рис. 5.** Районирование территории России по условиям размыва речных берегов.

Области: 1 – повсеместного размыва берегов рек при свободном развитии русловых деформаций, 2 – устойчивых к размыву (неразмываемых) берегов рек при ограниченном развитии русловых деформаций, 3 – чередования рек и участков рек с локальными размывами берегов при ограниченном развитии русловых деформаций и повсеместными размывами берегов на больших реках и в районах распространения песчаных отложений, 4 – с неразмываемыми скалистыми берегами на больших реках и размывами берегов в верховьях больших и на малых реках, 5 – чередования рек с неразмываемыми и размываемыми берегами в горных районах.

Морфодинамические типы русла: 6 – горные, 7 – полугорные, равнинные врезанные; 8 – относительно прямолинейные, неразветвленные, 9 – врезанные излучины, 10 – разветвленные, равнинные широкопойменные, 11 – относительно неразветвленные, прямолинейные или с одиночными и односторонними разветвлениями, 12 – вынужденные излучины, 13 – свободные излучины, 14 – прорванные излучины, 15 – сопряженные и разбросанные разветвления.

Интенсивность размыва берегов, м/год: 16 – слабая (до 2); 17 – средняя (2–5); 18 – сильная (5–10); 19 – очень сильная (более 10). 20 – зафиксированные экстремальные для данной реки скорости размыва берегов, м/год

рек со свободным развитием русловых деформаций, бассейны которых сложены песками, легкими суглинками, лессовидными отложениями (рис. 5). Таковы реки европейской части России – бассейнов Дона (кроме верховьев, расположенных на Средне-Русской возвышенности), средней и нижней Оки, средней Волги, Камы, северных приморских районов от низовий Онеги до Печорской низменности, а также рек Западно-Сибирской, Центрально-Якутской, Яно-Индигоирской и Нижнеамурской низменностей. В бассейнах Северной Двины, Вычегды, Мезени, Печоры и рек Северо-Сибирской низменности наблюдается чередование рек со свободным и ограниченным развитием русловых деформаций. На последних размыты берегов, сложенных валунными суглинками или морскими глинами, проявляются слабо (до 1–2 м/год) и распространены локально. Первые протекают по песчаным низменностям. Размыты берегов со скоростью 1–2 м/год характерны здесь для малых рек. Для средних и больших рек типичны скорости размыта 2–5 м/год, наблюдаются размыты выше 10 м/год, при локальных проявлениях до 50–80 м/год. Приведенные цифры относятся к пойменным берегам и уступам аллювиальных террас. Когда река подмывает коренные берега, скорости их отступления снижаются до 1 м/год и менее.

Остальные регионы характеризуются ограниченным развитием русловых деформаций и высокой устойчивостью к размыту берегов рек, сложенных скальными породами или глинами. Но и здесь встречаются районы, где реки активно размывают берега. На Средне-Сибирском плоскогорье малые, а иногда и средние реки формируют русла в маломощных рыхлых отложениях. Блуждая по кровле подстилающих их скальных пород, они разрушают берега. На Северной Двине ниже Котласа песчаные толщи, слагающие берега, подстилаются мореной, создающей неразмытаемый горизонт. То же характерно для Волги у Рыбинска. Легкоразмытаемые берега рек, в том числе горных, Восточной Сибири и Дальнего Востока приурочены к внутригорным котловинам. Аллювий здесь галечный, и скорости размыта берегов меньше.

На Русской равнине интенсивность размыта берегов на реках со свободным развитием русловых деформаций возрастает к северу от главного водораздела, что связано с увеличением в этом направлении водности рек. Исключение составляют реки северо-западных областей, сток которых зарегулирован озерами. К югу от главного водораздела усиление размыта берегов характерно для крупных многоводных рек, пересекающих области распространения легкоразмытаемых покровных пород. На малых реках ситуация противоположная: в южном направлении возрастает маловодность рек, русловые деформации ослабевают, многие реки деградируют и отмирают. В Западной Сибири с юга на север также происходит активизация размыта берегов, но при выходе рек из гор юга Сибири на равнину выделяется область очень активных размыта берегов. На севере активизации размыта берегов способствуют термоэрозийные процессы, на таежных реках – плывущие деревья и лесные заломы. На замерзающих реках берега разрушаются под воздействием ледохода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мечников Л.И. Цивилизация и великие исторические реки. М.: Прогресс-Пангея, 1995. 462 с.
2. Беркович К.М., Власов Б.Н. // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1982. № 2. С. 28–34.
3. Маккавеев Н.И., Чалов Р.С. Русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1986. 264 с.
4. Беркович К.М., Кирик О.М., Лодина Р.В. и др. // Вестн. МГУ. Сер. 5, География. 1996. № 3. С. 35–41.

Рецензент статьи Н.В. Короновский

\*\*\*

Роман Сергеевич Чалов, доктор географических наук, профессор кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ, зав. научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ, академик Академии водохозяйственных наук и Международной академии наук Евразии. Область научных интересов – гидрология рек, русловые процессы. Автор 13 монографий и учебников, около 250 научных статей.